

Hvordan løser elever i videregående skole beregningsoppgaver i kjemi?

En kvalitativ studie av elevers prøvebesvarelser og oppgavebaserte intervjuer

Ann Kristin Danielsen Jacobsen



Masteroppgave i kjemididaktikk, KJEM399K

Kjemisk institutt

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Universitetet i Bergen

3. juni 2019

Forord

Med denne masteroppgaven nærmer jeg meg ferdig utdannet lektor, og i den anledning er det flere jeg ønsker å rette en takk til.

Først og fremst ønsker jeg å takke min veileder, Matthias Stadler. Takk for fine samtaler, økt innsikt, gode råd og veiledning gjennom hele prosessen. Deretter ønsker jeg å takke både de elevene som har latt meg bruke deres prøvebesvarelser, og de elevene som har stilt opp på intervju. Dette har vært til stor hjelp og bidratt til økt innsikt omkring deres forståelse. Jeg ønsker også å takke mine gode venninner Maren Stangeland og Janne Helgesen samt min bror Thomas Melvin Danielsen for korrekturlesing, det settes stor pris på.

Takk til min omsorgsfulle familie som alltid stiller opp uansett hva, og takk til mine gode venner som bestandig får meg i godt humør.

Til sist, men ikke minst ønsker jeg å takke alle de nydelige menneskene jeg har blitt kjent med i løpet av mine fem år på lektorutdanningen – fremtidens ungdom er i trygge hender.

Det har vært en fryd, på gjensyn!

#lektorlove

Ann Kristin Danielsen Jacobsen

3. juni 2019

Sammendrag

Beregninger er en viktig del av flere konsepter innenfor kjemi, og for tidligere forskning er det vist at gode matematikkferdigheter kan ses i lys med suksess i kjemi. Derfor er det ønskelig å nyansere forskningen ved å se nærmere på hvordan elever løser beregningsoppgaver i kjemi. Denne studien omhandler derfor elevers handlingsmåter i møte med slike oppgaver. Studien baserer seg på analyser av elevers prøvebesvarelser i programfaget kjemi 2 samt oppgaveintervju ved bruk av videoopptak av elever fra programfaget kjemi 1. Hele utvalget er elever ved videregående skoler i Vest-Norge.

Resultater fra studien viser at elevers evne til å løse beregningsoppgaver korrekt henger sammen med kompleksiteten til oppgavene. I tillegg vises det at få feil skyldes slurv, og at de feilene elevene som oftest gjør skyldes ulike bearbeidingsmekanismer som skal føre dem til en løsning, enten om det skyldes å putte tall i en formel, bruke oppgaveopplysninger og transformere til nye tall eller manglende anvendelse av relevant informasjon. I tillegg kommer det fram at elever har en tendens til å løse oppgaver de mestrer med fokus på prosedyre.

På bakgrunn av funnene i oppgaven kan det konkluderes med at det ikke alltid er hensiktsmessig at oppgavearbeidet preges av mengdetrening, men at det kan fokuseres på noen gode oppgaver som kan bidra til innsikt og forståelse for elevene. Ved å variere oppgaver, både i typer og i kvantitet er det ønskelig at elevene skal få økt innsikt i hvorfor ulike algoritmer og formler anvendes i beregningene. I tillegg kan studien vise til at det som lærer er viktig å ha en forståelse for de matematikkferdigheter elever tar med seg inn i undervisningen.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	iii
Sammendrag.....	v
1 Innledning.....	4
1.1 Bakgrunn for valg av tema.....	4
1.2 Oppbygging og avgrensning av oppgave.....	6
2 Teori.....	8
2.1 Pedagogisk bakgrunn.....	8
2.1.1 Læringsteori.....	8
2.2 Oppgaver i kjemi.....	10
2.2.1 Rammeverk.....	11
2.2.2 Kognitive ferdigheter.....	13
2.2.3 Problemløsning.....	14
2.3 Matematikkens betydning for kjemifaget.....	15
2.3.1 Mangler i matematikkforståelse?.....	16
2.3.2 Matematikkferdigheter.....	18
2.3.3 Anvendelse av matematikk.....	19
2.3.4 Betydning av matematikken i kjemi.....	20
2.4 Oppsummering.....	21
3 Metode.....	22
3.1 Forskningsdesign.....	22
3.2 Prøvebesvarelser.....	23
3.2.1 Utvalg og datainnsamling.....	23
3.2.2 Analysemetode for prøvebesvarelser.....	23
3.3 Oppgavebasert elevintervju.....	28
3.3.1 Utvalg og gjennomføring av intervju.....	30
3.3.2 Intervjuguide.....	30
3.4 Databehandling og analyse av intervju.....	31
3.4.1 Transkripsjon.....	31
3.4.2 Analyse og tolkning.....	32
3.5 Studiens kvalitet.....	34
3.5.1 Pålitelighet.....	34
3.5.2 Gyldighet.....	35
3.5.3 Generaliserbarhet.....	36
3.6 Etske betraktninger.....	37
3.7 Oppsummering.....	38
4 Resultater.....	40
4.1 Elevbesvarelser.....	40
4.1.1 Enkle oppgaver.....	42
4.1.2 Komplekse oppgaver.....	44
4.2 Elevintervjuer.....	50
4.2.1 Kjente oppgaver.....	50
4.2.2 Oppgaver med feil.....	52

4.2.3 Komplekse oppgaver	54
4.3 Oppsummering	56
5 Diskusjon.....	57
5.1 Enkle oppgaver	57
5.1.1 Korrekt	57
5.1.2 Feil.....	58
5.2 Komplekse oppgaver	59
5.2.1 Tall i formel.....	60
5.2.2 Bruke opplysninger, transformere i nye tall.....	60
5.2.3 Manglende anvendelse av informasjon	62
5.3 Implikasjoner av forskningen	62
5.3.1 For mye prosedyre?	63
5.3.2 Læreryrket og undervisning.....	64
5.4 Oppsummering	66
6 Konklusjon.....	67
6.1 Implikasjoner og veien videre	68
Litteraturliste.....	69
Vedlegg 1 – intervjuguide.....	72
Vedlegg 2 – Oppgaver gitt ved intervju	74

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for valg av tema

Beregninger er en viktig del av flere konsepter innenfor kjemi, og ifølge Royal Society of Chemistry (2019) trenger kjemikere en god forståelse for grunnleggende matematiske konsepter for å kunne lykkes i kjemi. Noen vanlige arbeidsoppgaver for kjemikere er analyser, undersøkelser og gjennomføring av prøver. Dette krever en matematisk forståelse, både for størrelser, proporsjoner, fremstilling av data og statistikk.

Når man som elev inntar kjemiens verden blir man introdusert for mange nye begreper, enheter og forhold. Dette skal raskt også kunne settes inn i en matematisk kontekst, hvor elevene skal være i stand til å bruke disse i beregninger. Blant annet blir elevene presentert for flere ulike formler, som videre skal brukes i beregninger. Ofte vil disse formlene pugges, og om man da ikke husker formelen kommer man ikke særlig langt.

I et kjemifag på universitetsnivå opplevde jeg en foreleser som forklarte en hoved-formel, og viste oss hvordan vi ut fra denne kunne utlede flere formler. Hun satt av mye tid til at studentene skulle forstå hvorfor formlene var bygget opp som de var, og faktisk skjønne sammenhengene som ligger bak dem. Dette gjorde at når eksamen kom var det ikke bekymringer om man fikk oppgitt de nødvendige formlene på eksamen, eller om man husket dem – fordi vi *forsto* dem, og ikke minst vi forsto konseptene bak, og sammenhengen mellom dem.

Jeg har et inntrykk av at beregningsoppgaver har en tendens til å bestå av memorering og innøvde rutiner, noe jeg også har opplevd selv. Hvis man husker formelen og klarer å putte inn riktige tall vil man også kunne produsere riktig svar. Dette fungerer til en viss grad, men etterhvert vil det være nødvendig at man innehar en forståelse for konseptene bak, og at man skjønner matematikken i kjemien. Hvis vi holder oss til eksempelet mitt over litt til, med foreleseren som utledet formlene, tror jeg det blant studentene opplevdes som en stor fordel å ha matematikk-kunnskaper. Som lektorstudenter med matematikk som fag nummer to, fikk vi inntrykk av at vi hadde en stor fordel. Slik bachelorprogrammet i kjemi var når jeg startet min

utdanning er det ikke mange obligatoriske matematikkemner i graden, noe som da gjorde at vi kanskje skilte oss ut med tanke på våre matematikkferdigheter. Dette er også opplevd i andre kjemiemner, blant annet når det kom til statistiske analyser, hvor vi igjen opplevde at vi hadde et fortrinn i vår egen forståelse.

Tema for oppgaven er beregningsoppgaver i programfag kjemi på videregående skole. Flere studier er blitt utført for å se på sammenhenger mellom matematikkferdigheter og prestasjoner i kjemi (Childs & Sheehan, 2009; Hoban, Finlayson, & Nolan, 2012; Leopold & Edgar, 2008; Scott 2012). Hvor det er vist at gode matematiske ferdigheter peker mot god prestasjon i kjemi, (Andrews & Andrews, 1979; Ozsogomonyan & Loftus, 1979). Så selv om dette ikke direkte indikerer at svake matematiske ferdigheter har noe betydning for prestasjon i kjemi, er det uansett å anse som positivt med gode matematikkevner. For å få et best mulig inntrykk er det for denne oppgaven valgt å hovedsakelig legge fokus på elevens løsningsmetoder og de feilene de gjør i møte med denne type oppgaver, og dermed prøve å forstå deres tankemønstre. Med utgangspunkt i tidligere forskning sentrert rundt hva elever oppfatter som vanskelig i kjemi (Childs & Sheehan, 2009) er følgende problemstilling formulert:

Hvordan løser kjemielever i videregående skoler beregningsoppgaver ved prøvesituasjoner?

Her vil det hovedsakelig fokuseres på typer beregningsoppgaver, feil elever gjør og om det finnes fellestrekk for måtene elever løser beregningsoppgaver på. For å belyse denne problemstillingen er det tatt utgangspunkt i tre forskningsspørsmål:

1. Hvilke typer feil finnes i elevenes prøvebesvarelser?
2. Hva forteller besvarelsene om hvordan elevene tenker i kjemi?
3. Hva kan være grunner til de måtene elevene løser oppgavene på?

For de to første forskningsspørsmålene er det ønskelig å få et innblikk i hvordan elever løser beregningsoppgaver, og hvilke feil de begår, gjennom å studere og kategorisere deres besvarelser. Ved å sortere dem er det også ønskelig å se etter hyppighet og ulike trender i materialet. For det tredje spørsmålet vil det foregå en form for tolkning av besvarelsene til elevene, for å skjønne hva som ligger bak deres besvarelser, og for å forstå deres tanker omkring kjemien. For det siste forskningsspørsmålet er det ønskelig å se på ulike årsaker som kan ligge bak de måtene elever løser beregningsoppgaver på.

Det overordnede målet for selve oppgaven er økt innsikt og forståelse omkring beregningsoppgaver i kjemi, og mulige årsaker til elevenes fremgangsmåter for slike oppgaver. I tillegg er det ønskelig at gjennom informasjonen analysen gir, skal det bli tydeligere hva kjemiundervisningen må vektlegge for å i større grad kunne hjelpe flere elever å lykkes med beregninger i kjemi. Det finnes lignende forskninger gjort, men som da har et matematisk utgangspunkt. Når det kommer til dette feltet finnes det lite forskning utført i Norge, eller fra et kjemiperspektiv. Målet med dette prosjektet er derfor å bidra til en økt forståelse omkring hvordan elever løser beregningsoppgaver i kjemi.

1.2 Oppbygging og avgrensning av oppgave

Oppgavens struktur er følgende: Forord, sammendrag, innledning, teori, metode, resultater, diskusjon og konklusjon. Innledningsvis ble problemstilling og forskningsspørsmål for oppgaven presentert. I teoridelen blir det redegjort for både ulike oppgavetyper i kjemi og hva disse krever av elevene, i tillegg til ulike studier som omhandler problemløsning og matematikk i kjemi. Disse vil danne rammeverket for drøfting i diskusjonsdelen.

På grunn av begrenset tid på masterprosjektet har jeg valgt å avgrense oppgaven til å se på beregningsoppgaver for å finne ut hvilke feil elever foretar, og hvilke måter elever tenker omkring kjemi når de løser slike oppgaver. Dette gjøres for i større grad å kunne forstå hvordan elever løser beregningsoppgaver i kjemi, og hva som ligger bak deres tenkning.

I metodedelen har jeg først presentert kategoriseringssystemene som er utviklet for å analysere elevbesvarelsene, både med fokus på oppgavetyper og typer feil. Deretter er det greid ut om intervju som metode. Kvaliteten på studien blir diskutert, og de etiske betraktninger som er knyttet til oppgaven vil bli vurdert.

I resultatdelen vil resultatene presenteres først etter typer oppgaver, og deretter etter typer feil. Deretter vil elevens måte å løse oppgaver på presenteres og forklares. Til slutt vil situasjoner fra intervju fremlegges.

Diskusjonsdelen er bygget opp i samsvar med resultatdelen, og resultatene vil diskuteres innenfor en teoretisk ramme. Deretter vil det komme en konklusjon om ulike årsaker til ulike trender som er funnet i forhold til elevens løsninger ved beregningsoppgaver. Det vil også bli

kommentert hva jeg anser som aktuelt og interessant både for egen lærerpraksis og videre forskning.

2 Teori

2.1 Pedagogisk bakgrunn

I kjemifaget er man ofte avhengig av å drive beregninger, enten man holder på med syrer og baser, likevekter eller elektrokjemi. I flere undersøkelser er det derimot vist at elever ved videregående skole ofte løser beregningsoppgaver med større sannsynlighet i en ren matematisk kontekst sammenlignet med beregningsoppgaver satt i en kjemikontekst (Scott, 2012). Derfor oppleves det som interessant å se nærmere på hvordan elever ved norske videregående skoler løser slike oppgaver i prøvesituasjoner. Gjennom beregningsoppgaver i kjemi må elevene ikke bare bruke det de har lært i kjemi, men også anvende ulike formler og algoritmer lært i matematikken. Elevene må, med andre ord, overføre kunnskap fra matematikk til kjemi. I læring av kjemiske beregninger vil elevene aktivere tidligere kunnskaper, og dermed drive med både en utvidelse og utbygging av kognitive strukturer (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 44)

Med denne masteroppgaven er det ønskelig å se på hvordan elevene tenker i kjemi, og da med fokus på beregningsoppgaver. Dette gjøres ved å se på elevers prøvebesvarelser gjennom et kategoriseringssystem utviklet for denne oppgaven, i tillegg til å utføre elevintervju for å få et nærmere innsyn i hvordan elevene arbeider med beregningsoppgaver. I analysen blir det trukket linjer til læringsteorier, og ulike problemløsningsstrategier elever benytter seg av i møte med oppgaver i kjemi. Dette, i tillegg til tidligere forskning gjort på matematikk i kjemi, vil beskrives i dette kapitlet.

2.1.1 Læringsteori

Forskning på kjemiundervisning er en systematisk undersøkelse av læring, forankret i teori, som fokuserer på å forstå og forbedre læring av kjemi (Herron & Nurrenbern, 1999). Ifølge Herron & Nurrenbern (1999) er det særlig to læringsteorier som har vært med å forme forskningen; behaviorismen og konstruktivismen.

Behaviorismen beskriver læring som en form for stimuli som påvirker våre sanser, og den observerte responsen som skyldes stimulien (Herron & Nurrenbern, 1999). I et slikt syn ses kunnskap som en kvantitet, med en eksistens på egenhånd, og lærerens jobb er å få denne kunnskapen inn i hodet til elevene. Dette gjøres ved en form for betinging, som vil si at det

etableres en forbindelse mellom stimuli og respons. Ifølge et slikt grunnsyn skjer læring ved assosiasjon, med andre ord vil stimuli som er nær hverandre i tid og sted bli assosiert og kan dermed føre til gjentakelse (Skaalvik & Skaalvik, 2005, s. 28) Lærer overfører kunnskap ved å belønne en atferd som gjør at denne har en tendens til å gjenta seg, gjerne kjent som det såkalte forsterkningsprinsippet (Säljö, 2013, s. 60). Ifølge behavioristene lærer vi noe når vi tilegner oss ny atferd. Samtidig er det da mye som ikke lar seg forstås gjennom disse prinsippene; i behaviorismen er tanker, ideer og verdier subjektive og de kan dermed ikke undersøkes vitenskapelig (Säljö, 2013, s. 62). Behaviorismen var stor på midten av 1900-tallet, og noen former for læring kan forstås ut ifra prinsippet om forsterkning. Blant annet kan pugging knyttes opp mot denne læringsteorien, der det kan ses som at lærer eller læringsmaterialet skal overføre kunnskap til eleven. En slik filosofi har fått kritikk opp igjennom tiden for å dreie seg om en mekanisk overføring av kunnskap. Eleven blir i et slikt tilfelle en passiv mottaker av kunnskap fra en ekstern kilde. Ved å kun se på stimuli og atferden den produserer, kan man ikke danne seg et tydelig bilde av elevers kjemiforståelse (Grove & Bretz, 2012).

Etter hvert skjer det et skifte, hvor fokuset rettes mot å forstå psykologiske teorier om intellekt og kognitiv utvikling (Herron & Nurrenbern, 1999). Et sentralt element innenfor konstruktivismen er at kunnskap ikke bare mottas passivt, men at det aktivt blir bygget opp av den lærende (Herron & Nurrenbern, 1999). Med andre ord vil det si at kunnskap konstrueres i mennesket, fremfor at det skjer en mekanisk overføring (Säljö, 2013, s. 65). Fokuset flyttes fra læreren til hva som skjer inni hodet til den lærende. Elevene skal gi mening til ting og tolker i lys av hva de allerede vet, og på denne måte konstruere kunnskap i egen forståelse av verden (Herron & Nurrenbern, 1999). En som kan regnes som en av de fremste talsmennene for konstruktivisme er Jean Piaget, som var opptatt av individets kognitive utvikling (Säljö, 2013, s. 64). Individets mentale representasjoner og kunnskapsstrukturer er ikke kopier, men fortolkninger av virkeligheten, og nye erfaringer vil fortolkes og forstås i lys av individets eksisterende kunnskapsstrukturer (Skaalvik & Skaalvik, 2005, s. 50). Piagets induktive perspektiv har fått kritikk for sine begrensinger. Blant annet påpekes det at sannsynligheten for at barn oppdager de abstrakte kunnskaper som vitenskapen har fostret er liten, hvor det påpekes at slik kunnskap må formidles (Skaalvik & Skaalvik, 2005, s. 53). Her kommer Ausubels deduktive metode inn, gjengitt i Skaalvik & Skaalvik (2005); Ausubel baserer sin tenkning på at alle nye erfaringer tolkes i utgangspunkt av tidligere kunnskap. Elevene er ikke blanke ark, men de tar med seg ulike erfaringer og ideer inn i kjemiundervisningen. I

motsetning til Piagets induktive metode, hvor elevene oppdager kunnskap gjennom utforskning, argumenterer Ausubel deduktive metode for lærerstyrt undervisning, hvor lærer går fra det generelle til det mer spesifikke (Skaalvik & Skaalvik, 2005, s. 53). Grove & Bretz (2012), basert på Ausubels metode, nevner enkelte krav som må være oppfylt for at meningsfull læring skal finne sted. Disse kravene handler om at eleven må ha relevant forkunnskap for at ny kunnskap skal kunne forankres. I tillegg må kunnskapen som læres også oppfattes som relevant til andre kunnskaper. Til slutt nevnes det at den lærende må velge å lære meningsfullt, altså velge å knytte den nye kunnskapen opp mot tidligere kunnskap (Grove & Bretz, 2012). Sosial konstruktivisme tar utgangspunkt i at læring og kunnskap må ses i lys av historie, språk og fellesskap. En sentral person her er den russiske psykologen Lev Vygotsky som la grunnlag for det sosiokulturelle perspektivet på læring. Man må ta i betraktning at mennesket er et biologisk, sosialt, samfunnsmessig og historisk vesen, for å bedre forstå dets utvikling (Säljö, 2013, s. 72).

Både behaviorisme og konstruktivisme er to teorier utviklet for å forklare læring og kunnskap, dog tilnærmingene er noe ulike. Gjennom snart fem år på lektorutdanningen har begge tradisjonene blitt trukket fram, hvor det både har blitt vist hva man kan hente ut fra slike teorier, men også blitt fokusert på at man må stille seg kritisk til dem. Oppfatningen er at realfagsdidaktikken er preget av et konstruktivistisk syn på undervisning. Ideelt sett er nok teorifundamentet preget av flere tradisjoner og teorier, og det opplever jeg også at min pedagogiske forankring er. Mitt læringssyn er preget av en hovedtyngde i konstruktivisme, men med innslag fra andre teorier, som for eksempel sosiokulturell teori.

2.2 Oppgaver i kjemi

Etter hvert som elevene blir eldre, og har gått på skole i flere år, blir skolearbeid mer teknisk og krevende for dem. Fokuset flyttes fra å lære basiskunnskaper til at elevene skal tenke abstrakt og kunne bruke generelle strategier for å analysere og løse problemer (Doyle, 1983, s. 160). En slik beskrivelse av pensum sier likevel lite om de iboende krav til arbeidet elevene må utføre, og ifølge Walter Doyle (1983) er det nødvendig å se på pensum som «academic tasks», hvor det engelske begrepet *task* er valgt oversatt til oppgave da det oppleves som det mest dekkende norske begrepet. Akademiske oppgaver er de løsninger det kreves at elevene skal produsere, og de veiene som kan brukes for å tilegne seg disse (Doyle, 1983). Videre presiserer han at akademiske oppgaver har en styrende funksjon i klasserommet, og

bestemmer på mange måter hva som blir gjort. Et slikt perspektiv på oppgaver kan ses i lys av to ideer;

- 1) At elevers akademiske arbeid i skolen defineres av de akademiske oppgavene som er en del av innholdet de møter på daglig basis.
- 2) At eleven vil lære seg det en oppgave fører dem til, med andre ord den informasjon og de operasjoner som kreves for å gjennomføre oppgaven (Doyle, 1983).

Videre i artikkelen «Academic Work» (1983, s. 163) presenterer Doyle noen generelle kategorier for akademiske oppgaver. For denne oppgaven, hvor fokuset er på beregningsoppgaver er det to kategorier som kan være interessante å se på.

- 1) Prosedyre- eller rutineoppgaver: I slike oppgaver skal studenten bruke standardisert eller forutsigbar formel eller algoritme for å generere svar.
- 2) Forståelsesoppgaver: Her er det forventet at studenten skal a) gjenkjenne omdannede eller parafaserte versjoner av tidligere informasjon, b) bruke prosedyrer til ny informasjon eller bestemme mellom flere prosedyrer hvilken som er mest gunstig, eller c) trekke slutninger fra informasjon eller prosedyrer studenten har støtt på tidligere.

Ved å sammenligne disse to kategoriene kommer det fram at førstnevnte ofte kan fullføres uten noe dypere forståelse, ved kun å vite hvordan man skal følge en rekke beregningstrinn, mens for forståelsesoppgaver kreves det kunnskap om hvorfor trinnene fungerer (Doyle, 1983, s. 165). For at elever skal gjennomføre en forståelsesoppgave relatert til prosedyre, må eleven, ifølge Doyle (1983), også være i stand til å konstruere en kognitiv representasjon av de ideene som ligger i algoritmen.

2.2.1 Rammeverk

Smith, Nakhleh og Bretz (2010) laget et rammeverk for klassifisering av eksamensoppgaver i kjemi med utgangspunkt i ulike kategoriinndelinger fra flere forskere, inkludert Zoller med flere. De brukte en revidert versjon av Blooms taksonomi av Anderson & Krathwohl (Smith et al., 2010), som plasserer læringsutbytte over to dimensjoner, kunnskapsdimensjon og kognitiv prosess (Smith et al., 2010). Kunnskapsdimensjonen innebærer faktakunnskaper, konseptkunnskaper, prosedyrekunnskaper og metakognitive kunnskaper, mens kognitiv prosess-dimensjonen inneholder kategorier som huske, forstå, bruke, analysere, evaluere og produsere (Krathwohl, 2002). Disse ulike objektene ble innsatt i en tabell, hvor kunnskapsdimensjonen ligger langs den vertikale akse, og kognitive prosessen langs den

horisontale aksen. Denne tabellen kunne da være et hjelpemiddel til å klassifisere aktiviteter og oppgaver, og gi et klart og tydelig visuelt bilde av læringsaktiviteter i et spesielt kurs eller emne (Krathwohl, 2002). For de kognitive prosessene kan man innføre et skille mellom høyere-ordens og lavere-ordens kognitive ferdigheter. Man kan se på kategoriene huske, forstå og bruke som lavere-ordens kognitive ferdigheter, og analysere, evaluere og produsere som høyere-ordens kognitive ferdigheter (Zoller & Tsapalis, 1997). Zoller & Tsapalis (1997) beskriver et skille mellom oppgaver som krever lavere-ordens og oppgaver som krever høyere-ordens kognitive ferdigheter av elevene. Oppgaver eller spørsmål som krever lavere-ordens kognitive ferdigheter er oppgaver som krever enkel tilbakekalling eller anvendelse av kjent teori eller kunnskap, i kjente situasjoner eller kontekster. Det kan også være problemer som kan løses ved kjente innøvde algoritmiske prosesser. Oppgaver som krever høyere-ordens kognitive ferdigheter er ukjente kvantitative problemer, eller kvalitative konseptuelle oppgaver som krever analyse og problemløsningsstrategier. For slike oppgaver må elevene knytte sammenhenger og benytte seg av kritisk tenkning (Zoller & Tsapalis, 1997).

Ved å fokusere på hvordan spørsmål var stilt, og hvilke tankeprosesser elevene mest sannsynlig måtte bruke klarte de å sortere de ulike klassifiseringssystemene og laget et rammeverk. Det som var interessant å se her, er at flere av kategoriene fra systemene går litt på tvers av både kunnskap elevene må bruke og hva oppgaven etterspør. Rammeverket som ble utviklet består av tre primære kategorier; definisjon, algoritmisk og konseptuell (Smith et al., 2010). De primære kategoriene er deretter delt inn i hva de ulike oppgavetyper krever av studentene. For beregningsoppgaver er kategorien algoritmisk mest relevant.

Underkategoriene her er makroskopisk-mikroskopisk konverteringer, makroskopisk-dimensjonal analyse, mikroskopisk-symbolisk konverteringer, og oppgaver bestående av flere trinn (Smith et al., 2010). Spørsmål bestående av flere ledd inneholder både oppgaver og problemer, og handler om flere trinn hvor det ofte må brukes matematiske formler. Dette tolkes som at de tre første underkategoriene er oppgaver som er av en enkel form, mens sistnevnte består av flere ledd og dermed er mer kompleks.

For datamaterialet i denne oppgaven vil dette være med å danne rammeverk for analysen. Dette med bakgrunn i at oppgavene som analyseres er beregningsoppgaver, og det oppleves som mest relevant og skille mellom kompleksitetene til oppgavene, fremfor om oppgavene er prosedyre- eller forståelsesoppgaver.

2.2.2 Kognitive ferdigheter

Et godt rammeverk viser at et kjemispørsmål ikke nødvendigvis er låst i en kategori. Hva som tilsier at et spørsmål krever konseptuell tenkning, vil til en viss grad være avhengig av elevens bakgrunn og forkunnskaper (Stamovlasis, Tsaparlis, Kamilatos, Papaoikonomou, & Zaratoadou, 2005). Et spørsmål kan for en elev kun kreve lavere-ordens kognitive ferdigheter, mens det for en annen elev krever høyere-ordens kognitive ferdigheter. Dette kan komme av ulik kontekst. Studien utført av Stamovlasis m.fl. (2005) støtter uavhengighet mellom konseptuell- og algoritmisk dimensjon, og de kan konkludere med at kompetanse i algoritmisk problemløsning er uavhengig av kompetanse innenfor konseptuelle spørsmål. Det vil ikke si at disse dimensjonene ikke kan sameksistere i en person, men at å kunne prestere i den ene dimensjonen ikke er avhengig av prestasjon i den andre.

I tillegg kommer det også fram at beregningsoppgaver ikke nødvendigvis kun krever at elevene bruker algoritmer, men også innehar en forståelse for konsept og kritisk tenkning (Stamovlasis et al., 2005). De presiserer også at elever som opplever konseptuelle spørsmål krevende bør gis kontinuerlig øvelse, oppmuntring og støtte for å arbeide med slike oppgaver. Hensikten med dette er å øke deres evne og ferdigheter samt utvikle deres selvtillit. Å kombinere oppgaver som krever høyere-ordens kognitive ferdigheter med oppgaver som krever lavere-ordens kognitive ferdigheter trengs for å utfordre og fostre elevens mulighet til å utvikle deres kognitive kapasitet (Stamovlasis et al., 2005). Noen av de sentrale hensiktene med kjemiutdanning er å sørge for at elevene utvikler både kapasitet til problemløsning og til å ta avgjørelser, men også deres evne til resonnering og kritisk tenkning (Zoller, 1993). Dette både i en generell vitenskapelig kontekst, men også spesifikt i kjemi. Dette skal frembringe at elevene kan være bidragende borgere i samfunnet. Zoller (1993) skriver at tradisjonell kjemiundervisning har et forelesningspreg, fokusert på å presentere sekvenser av fakta og likninger som skal memoreres. Læreren lærer vekk algoritmer som igjen skal reproduseres. Elevene mottar kjemikunnskap fra en lærer eller bok, og deres oppgave er å returnere kunnskapen uten noe særlig form for prosessering. En konsekvens av slik undervisning er at elevene ikke forstår konseptene, og at de ikke bruker sine høyere-ordens kognitive ferdigheter eller dømmekraft (Zoller, 1993). Det å utvikle høyere-ordens kognitive ferdigheter, som problemløsning, beslutningstaking og kritisk tenkning er blant mange ansett som det undervisning burde sikte på.

2.2.3 Problemløsning

Om et kjemispørsmål kan løses ved hjelp av algoritmer eller ei, kan det uansett oppleves som vanskelig for elevene (Bunce, 1991). Lærere ser ofte ikke hvorfor elever opplever algoritmiske oppgaver som vanskelige, men elever kan anse dem som et problem, etter en definisjon av Hayes, gjengitt i Bunce (1991). Hayes definerer nemlig et problem som en kløft mellom der eleven er, og der eleven ønsker å være, og det faktum at eleven ikke vet hvordan han skal komme seg dit (Bunce, 1991). Med andre ord blir algoritmiske oppgaver problem for eleven (nybegynneren) fordi løsningsmåten ikke er selvsagt for ham, mens for læreren (eksperten) blir kanskje ikke en slik oppgave ansett som en problemløsningsoppgave. En slik definisjon av et problem skifter vektlegging fra hva en lærer anses som et problem til hvordan eleven opplever det (Bunce, 1991).

Ved problemløsning kan én strategi være å dele opp prosessen i mindre trinn, med overkommelig kompleksitet (Reif, 1981). Uerfarne elever har en ofte en lineær tilnærming til problemløsning, hvor de jobber ut ifra sekvenser. Derfor burde det være nyttig å lære elever om viktigheten av ulike komponenter av løsningsprosessen, og at de lærer hver komponent i seg selv, før de skal bruke dem samlet til å komme fram til et svar (Reif, 1981). Ofte ender elever opp med å etterligne prosedyre utført av lærer, men normalt er mange av disse prosedyrestegene ikke synlige for eleven, da lærer automatisk kan slå sammen flere steg av løsningsprosessen (Bunce, 1991).

Chi, Glaser & Rees utførte i 1981 en studie hvor de så på hvordan eksperter fremstiller problemer i fysikk (Doyle, 1983). Når det kommer til forskjeller på eksperter og nybegynnere, ble det vist at de problemer nybegynnere støter på primært stammer fra mangler i deres fysikk-kunnskaper framfor informasjonsprosessering eller kapasitet. Eksperter var i stand til å forstå fysikk bedre fordi de så problemene i lys av underliggende prinsipper, mens nybegynnere fokuserte på bokstavelige opplysninger om problemet (Doyle, 1983). For elevene ser det ut som deres kunnskap er organisert rundt isolerte hendelser, fremfor helhetlige og underliggende prinsipper (Doyle, 1983). Det kan se ut som at en stor forskjell mellom eksperter og nybegynnere, ved snakk om problemløsning er koding av relevant informasjon (Bunce, 1991). Nybegynnere i kjemi løser problemer ved å finne kvantitetene (størrelsene) i oppgaven, og deretter gå igjennom det de kan for å prøve å finne en formel eller algoritme som samsvarer, for deretter å kunne erstatte tall, og produsere et svar (Bunce, 1991).

Når det kommer til feil ved oppgaveløsning, og særlig ved algoritmiske oppgaver, har et typisk syn vært i skille mellom såkalte «slip ups» og «bugs». Førstnevnte er slurvefeil, altså usystematiske og utilsiktede feil som skjer ved utførelse. Sistnevnte er systematiske feil som stammer fra en misoppfatning eller manglende kunnskap, og som dermed er en liten modifisering eller forstyrrelse i korrekt prosedyre (VanLehn, 1982). I en studie utført av VanLehn (1982) fant de flere ulike «bugs» ved subtraksjons-oppgaver, og i et forsøk på å forklare disse, kom de opp med en teori som omhandler elever repareringer. Denne teorien innebærer at når en elev står fast ved en subtraksjons-oppgave, vil eleven ikke bare gi opp, men gjøre små forsøk på problemløsning, akkurat nok til at eleven ikke står fast lengre og får fullført oppgaven (VanLehn, 1982). Disse små, lokale forsøkene på problemløsning kalles reparering, til tross for at de sjeldent klarer å frembringe korrekt svar for eleven, og rette opp i prosedyren (VanLehn, 1982). Blant enkelte elever ble det brukt flere måter å reparere når de møtte på en blindvei, disse elevene brukte en såkalt trikse- og fikse-strategi. (VanLehn, 1982). Løsningsstrategien oppfattes ikke som feil av eleven, og derfor er det ikke bare nok å fortelle eleven at svaret er feil, da dette ikke hjelper eleven å rette opp i «bugen» som forårsaker feilen (Doyle, 1983). En konsekvens, hvis disse praktiseres for lenge, kan være at det blir vanskeligere å rette opp i dem. Derfor er det fordelaktig å analysere elevens ukorrekte svar, for å oppdage de regler som blir fulgt. For de beregningsoppgaver som studeres her, vil det være ønskelig å se på de prosesser som skjer underveis i elevenes problemløsning, og selv om det ikke nødvendigvis foregår systematiske repareringer, er det ønskelig å bruke disse inndelingene som inspirasjon for eget kategoriseringssystem.

2.3 Matematikkens betydning for kjemifaget

Som nevnt innledningsvis skal analysen primært konsentreres rundt beregningsoppgaver, og det er ønskelig å se hvordan elevene anvender matematikk i kjemi. I en studie utført av Michael Grove og Samantha Pugh (i Grove, 2015) ønsket de å undersøke de matematiske problemene som påvirket kjemistudentene. Dette ble gjort i et forsøk på å indentifisere hva som må gjøres, både fra et studentperspektiv og et ansattperspektiv. Det som kom fram i deres studie var at studentene ikke kuttet ut matematikk. Det de derimot fant var at studentene kanskje ikke hadde en klar oppfatning av viktigheten matematikk har for kjemi. I tillegg så de at elevene ikke hadde jevnlig anledninger til å bruke matematikkferdighetene sine, og at når de første fikk bruke dem lå fokuset på anvendelse og ikke å forstå matematiske konsepter.

2.3.1 Mangler i matematikkforståelse?

Ved å snakke om matematikkforståelse kan det først være lurt å faktisk få et innblikk i hvilke definisjoner som finnes på forståelse innenfor det matematiske fagfelt. Ifølge Skemp (1976) kan forståelse sies å ha to forskjellige betydninger; 1) instrumentell forståelse, og 2) relasjonell forståelse. Instrumentell forståelse er hva Skemp (1976) beskriver som regler uten hensikt, det vil altså si å lære regler og formler som skal brukes for å løse oppgaver (Nosrati & Wæge, 2015). Ved en slik form for forståelse vet elevene hvordan de skal løse oppgavene, mens ved å ha en relasjonell forståelse innebærer det at elevene vet *hvorfor* det gjøres på denne måten (Nosrati & Wæge, 2015). Skemp (1976, s. 25) bruker en analogi for å vise forskjellen mellom instrumentell og relasjonell forståelse; Utgangspunktet her er at man befinner seg i en ny by, og at man da fort lærer seg bestemte ruter som fører fra et startpunkt A til et endepunkt B. En rute kan for eksempel være fra hjemmet til skolen. Si at man da begynner å utforske denne byen, og bare vandrer rundt. Denne vandringen kan bidra til at man konstruerer et kognitivt kart over byen. Disse to aktivitetene har to forskjellige mål; den første aktiviteten handler om å komme seg fra A til B, altså til et spesifikt, fysisk sted, mens aktivitet to innebærer å styrke og forstørre sitt eget mentale kart over byen, som er en kunnskapstilstand. En person som kun forstår byen, gjennom den første aktiviteten, kan komme seg fra et sted til et annet, ved å følge en plan som består av klare trinn og instruksjoner. Si at personen i et veikryss velger feil, og dermed ender opp med å gå seg vill. Personen vil da være utenfor den planlagte ruten sin om han da ikke klarer å gå tilbake i trinnene, og dermed ende opp på riktig vei igjen. Dette står i motsetning til en person som har utviklet et kognitivt kart over byen, og som i prinsippet kan produsere omtrent uendelige ruter fra et sted til et annet, og vil være i stand til å omstille seg om det plutselig skjer endringer i planen hans.

Nosrati & Wæge (2015, s. 4) knytter denne analogien opp til læring i matematikk, og sier at en elev som har en instrumentell forståelse har lært en rekke instruksjoner som gjør at de kan komme seg fra et startpunkt (oppgavene) til et endepunkt (svar på oppgavene). Disse elevene har ikke utviklet en underliggende forståelse for relasjonen mellom de ulike trinnene de anvender og endepunktet, og vil ofte være avhengig av ekstern veiledning for å komme seg fram. De elevene som har utviklet en relasjonell forståelse bygd på mentale strukturer kan omtrent lage uendelig mange fremgangsmåter for å bevege seg mellom et punkt til et annet.

Scott (2012) ønsket å se nærmere på hva som kunne være kilden til at elever opplever problemer i møte med beregningsoppgaver i kjemi. I en studie ved en videregående skole i Skottland, ble prestasjonen til 52 elever i 16-17 årsalderen testet. Det ble utviklet et oppgavesett bestående av åtte kjemispørsmål, med et analogt sett av matematikkspørsmål hvor kjemikonteksten ble fjernet. På grunn av flere like numeriske operasjoner i kjemioppgavene besto det matematiske oppgavesettet kun av fem oppgaver. Elevene ble ikke fortalt at kjemi- og matematikkoppgavene brukte samme matematiske forståelse, da forskeren var redd dette kunne påvirke resultatet. For å fastslå hvorvidt det var en statistisk forskjell mellom resultat fra oppgavesettene ble det utført en McNemars test, en statistisk test brukt på parvis nominelle data, som forøvrig ikke fant noe signifikant forskjell for de enkleste oppgavene i de to oppgavesettene. De feilene som ble identifisert kunne som oftest knyttes til regnefeil eller slurv. Det som kommer frem derimot er at elevene, i de mer avanserte oppgavene, scorer høyere på matematikkoppgavene enn de tilsvarende kjemioppgavene (Scott, 2012). Ut ifra studien er det også tenkelig at årsaken til at elevene gjerne gjør det bedre på matematikkspørsmålene ikke skyldes en bedre forståelse, men rett og slett at de har mer øvelse med rene matematikkoppgaver enn satt i en kjemisk kontekst (Scott, 2012).

Et resultat av studien er også at til den krevende matematikkoppgaven er alle korrekte fremgangsmåter elevene presenterer like, mens de mest krevende kjemioppgavene har varierende løsningsforslag (Scott, 2012). Dette kan være en indikator på at elevene i større grad arbeider algoritmisk i matematikken, mens det for kjemioppgavene går litt mer på forståelse. Det var også en tendens til at elevene enten har rett eller galt på den krevende matematikkoppgaven, mens elevene på de krevende kjemioppgavene oftere hadde prøvd å løse dem, og dermed også fått vist en form for forståelse (Scott, 2012). Dette kan ha en sammenheng med at elevene følger algoritmen i matematikkspørsmålet. Hvis elevene ikke kjenner prosedyren kan det hende de lar være å prøve. For kjemispørsmålene er det muligens ikke like tydelig for elevene hva som faktisk er algoritmen. Med tanke på at det finnes flere løsningsforslag produsert av elevene kan det hende at de ikke tenker over at det finnes én riktig fremgangsmåte, og dermed tillater seg selv å prøve seg mer fram. Ut ifra studien presenterer de to perspektiver; elever er mangelfulle når det kommer til grunnleggende matematiske ferdigheter, som da vil ha en effekt på kjemiske beregninger. Dermed vil det være å anta at hvis elevene ikke helt har fått grep på den underliggende matematikken, og kun har forståelse gjennom en algoritmisk tilnærming, så kan det også forventes at elevene vil møte vanskeligheter i kjemiske beregninger (Scott, 2012).

2.3.2 Matematikkferdigheter

Noe annet som er interessant å ta i betraktning er hvordan matematikkferdigheter hos elever har en innvirkning på suksess i kjemi. En annen studie viser nemlig at det finnes en korrelasjon mellom matematikk-kunnskaper og prestasjon i kjemifag blant studenter som tar høyere utdanning i USA (Leopold & Edgar, 2008). Leopold og Edgar ønsket å undersøke i hvilken grad kjemistudenters mestret matematikken «flytende» innenfor bestemte områder av matematikken som ble brukt i forelesninger, laboratorier, diskusjoner, litteratur og hjemmearbeid. De sammenligner det å bruke matematikk «flytende» med det å bruke språket flytende. Om en student ikke mestrer språket det undervises på, vil dette skape en barriere i forståelse av pensum og hindre læring. Dessuten vil dette være noe som er enkelt å identifisere for fagansvarlig. For studenter som ikke mestrer matematikken flytende kan dette være et hinder, men ofte blir dette forklart med fagets kompleksitet fremfor studentenes manglende ferdigheter i matematikk (Leopold & Edgar, 2008).

I studien testet de temaer som algebra, algoritmer, grafer og tall på standardform. Resultatene viste flere misoppfatninger hos studentene. For eksempel kunne de ha kjennskap til de formelle regler for å bruke logaritmer, men glemte hva logaritmer faktisk er. Enkelte studenter hadde også en tendens til å blande sammen logaritmer med kvadratrøtter. Dermed kan også vanlige logaritmer oppfattes som mystiske enheter som ikke forventes å ha en tydelig numerisk verdi. Slike misoppfatninger kan hindre studentenes forståelse av syre-base likevekter, elektrokjemi og andre kjemiemner som inneholder logaritmer (Leopold & Edgar, 2008). Et resultat fra deres forskning viser at hvordan studentene scorete på en matematikkvurdering korrelerte med gjennomsnittlige slutt karakter i kjemiet emnet som studentene deltok i (Leopold & Edgar, 2008). Det vil si at de studentene som fikk gode resultater på matematikkvurderingen hadde en tendens til å også få god slutt karakter i emnet. Leopold og Edgar påpeker også at på matematikkvurderingen fikk ikke studentene lov å bruke kalkulator, og at dette kanskje kan være med på å bedre matematikk-kunnskapene i kjemi. Forskerne argumenterer for at ved å fjerne kalkulator og gi flere beregningsoppgaver hvor studentene må regne for hånd kan dette medføre at elevene i større grad føler eierskap til beregningene, at de kjemiske utregningene kanskje gir mer mening, og at de til og med kan bli bedre til å estimere svar og vurdere rimeligheten av resultatene sine (Leopold & Edgar, 2008).

I tillegg til matematiske misoppfatninger trekkes det i artikkelen frem det forskerne kaller pedagogiske misoppfatninger, som er misoppfatninger som forstyrrer læring (Leopold & Edgar, 2008). Disse kan holdes både av lærere så vel som studenter. Innenfor disse finner man blant annet en tanke hos lærere at studentene allerede kan fagstoffet. I forskningen til Leopold og Edgar (2008) kommer det frem at kun en tredjedel av studentene som tok testen gjorde det så bra som forventet, i forhold til de forkunnskapene man antar at elevene bringer med seg inn i faget. I tillegg avdekkes det en misoppfatning som bærer preg av en form for håpløshet; lærere tenker at hvis studentene ikke kan det nå, så kommer de ikke til å lære det, mens for studentene handler det om et inntrykk av seg selv som dårlig i matematikk (Leopold & Edgar, 2008). En annen misoppfatning man kan finne hos lærerne er at de ikke anser det som deres ansvar å undervise i matematikk som studentene allerede har lært. Selv om dette antagelig ikke er en del av deres arbeidsbeskrivelse vil det være mulig å tro at å implementere små sekvenser underveis vil gjøre studentene mer klar over hvilke ferdigheter de anvender. Som lærer skal man lære elevene ut ifra det nivået de ligger på, og ikke det nivået man ønsker de skal være. En fare ved å starte for komplisert er at man ikke kommer til å ende opp der man ønsker i det hele tatt. For å hjelpe elevene å overføre kunnskap må man gjøre dem klar over hvilke ferdigheter som er nødvendige å aktivere, og faktisk minne dem på hva disse ferdighetene innebærer.

En konsekvens av slike pedagogiske misoppfatninger er at elevene fortsetter å dyrke og opprettholde sine misoppfatninger og «buggy» algoritmer, altså at elevene fortsetter å anvende modifiserte algoritmer. Det finnes sannsynligvis to kilder til slike systematiske, men ukorrekte løsningsstrategier; 1) Forskjellige algoritmer kan ha noenlunde likt utseende, 2) En algoritme repareres av eleven når den møter på en blindvei i problemløsningen (Doyle, 1983). Løsningsstrategien oppfattes ikke som feil av eleven, og derfor er det ikke bare nok å fortelle eleven at svaret er feil, da dette ikke hjelper eleven å rette opp i «bugen» som forårsaker feilen (Doyle, 1983). En konsekvens er dermed at hvis disse praktiseres lenge kan det være vanskeligere å rette opp i dem.

2.3.3 Anvendelse av matematikk

I Childs & Sheehans studie (2009), hvor de ser på hva irske elever og studenter opplever som vanskelig i kjemi, finner man blant annet kjemiemner som innebærer matematiske manipuleringer på listen over de vanskeligste temaene for studenter. I tillegg kommer det

fram at emner som innebærer beregninger dominerte lister over vanskelige tema for både elever og studenter.

Hoban et al. (2012) ser nærmere på elevers evne til å overføre kunnskap fra matematikk til kjemi, hvor overføring innebærer å bruke ulike matematiske kunnskaper i en kjemisk kontekst, med andre ord er det å anvende matematikk i kjemi en form for overføring av kunnskap. Hoban et al. (2012) ser i sin forskning nærmere på:

- *Om studentene kan overføre matematisk kunnskap fra en matematisk til en kjemisk kontekst.*
- *Hvilken effekt evnen til å forklare matematisk kunnskap i en matematisk kontekst har på studentens evne til å overføre den til en kjemisk kontekst.*

Den matematiske kunnskapen i forskningen er relatert til kjemisk kinetikk og termodynamikk (Hoban et al., 2012). Konklusjonen de trekker er at problemene som studentene har i overføringsprosessen kanskje ikke har noe med studentenes evner til å overføre kunnskapen, men at studentene ikke har den nødvendige matematiske kunnskapen i matematikk-konteksten heller (Hoban et al., 2012). Ved spørsmål om hvorfor studentene kanskje kan svare riktig på noen spørsmål i en kjemikontekst men ikke i den matematiske forklarer forskerne det med årsaker som øvelse i kjemi. Det vil si at elevene ikke klarer å overføre en matematisk representasjon som de har lært i en kjemisk kontekst i en matematisk kontekst. Dette står i motsetning til Scott (2012) som påpeker at eleven har mest øvelse i matematikkoppgaver. Grunner til deres ulikheter kan være at Scott har sett på skoleelever i alderen 16-17 år, imens utvalget til Hoban med flere, er andre års studenter ved et universitet. Dermed kan fagkombinasjoner og bakgrunn ha noe å si for elevenes prestasjoner. Selv om forskningen ikke er signifikant på alle områder, kan den likevel være med å forme et grunnlag i min analyse, nemlig at det kanskje ikke er overføringen mellom matematikk og kjemi som er problemet. I tillegg til at for at studenter skal være i stand til å overføre matematikk må de ha utviklet en form for forståelse av matematisk betydning (Hoban et al., 2012).

2.3.4 Betydning av matematikken i kjemi

Det virker å være allmenn kjent at det blant kjemistudenter finnes visse matematiske vanskeligheter, hvor for eksempel bachelorstudenter ikke er i stand til å utføre grunnleggende utregninger i en kjemikontekst (Hoban et al., 2012). Det har også vært vist at problemene kan komme av studenters evne til logisk tenkning og til å løse tekstopp-gaver (Hoban et al., 2012). Det har vært mye forskning som omhandler å identifisere indikatorer på fremtidig suksess i

kjemi (Fardal, 2018), og felles for flere av disse studiene er at gode matematiske ferdigheter korrelerer med god prestasjon i kjemi (Andrews & Andrews, 1979; Ozsogomonyan & Loftus, 1979). I en studie utført i Irland av Childs & Sheehan (2009) ble det forsket på hva både elever og studenter i kjemi opplever som vanskelig i faget. Blant deres resultater påpeker de at man ikke må undervurdere den effekten matematiske ferdigheter har på læring i kjemi, og at slike egenskaper kan anses som en inngang til læring og forståelse i kjemifaget (Childs & Sheehan, 2009). Hvis elevers matematiske ferdigheter ikke tas tak i, kan det være vanskelig å øke deres forståelse i kjemi, og hvis de ikke er i stand til å forstå grunnleggende aritmetikk, vil det, ifølge Childs og Sheehan (2009), være nærmest umulig for dem å håndtere matematikken som ligger i mange grunnleggende kjemiemner. Med andre ord har matematikkforståelse noe å si for elevers læring i kjemi.

2.4 Oppsummering

For dette prosjektet tas det utgangspunkt i beregningsoppgaver, og gjennom tidligere studier er det valgt å ta utgangspunkt i ulik kompleksitet på oppgaver ved inndeling av disse. I tillegg er det sett på hvordan elever arbeider med problemløsning, da dette anser som interessant for å kunne utdype hva elevene gjør i arbeid med beregningsoppgavene og dermed danne et teoretisk rammeverk for de tolkninger som blir gjort.

Det er også ønskelig å se på hvordan elever anvender matematikk i kjemi, og ut ifra tidligere forskning på matematikkens betydning kommer det fram at gode matematikkferdigheter peker mot gode resultater i kjemi. I tillegg viser det at det finnes enkelte matematiske misoppfatninger hos studenter, som kan påvirke deres arbeid i kjemi. Likevel ser det ut som dette i aller størst grad er å finne for de som er på universitetsnivå. Generelt kan det virke som enkelte emner i kjemi virker krevende, også på grunn av matematikken, men at dette har lite med overføring å gjøre, kanskje heller matematikkferdigheter og kjemifagets kompleksitet.

3 Metode

3.1 Forskningsdesign

Formålet med masteroppgaven er å få et nærmere innblikk i hvordan elever løser og arbeider med beregningsoppgaver i programfaget kjemi. Dette er gjort ved å samle inn prøvebesvarelser for elever på en videregående skole i Vest-Norge, i tillegg til oppgavebasert elevintervjuer med tre elever fra en annen videregående skole. Utvalget består dermed av prøvebesvarelser til 13 elever i alderen 18-19 år samt intervju med tre elever i alderen 16-17 år.

Til denne oppgaven er det valgt å følge en kvalitativ analysemetode, dette fordi det er ønskelig med en mer nyansert beskrivelse av temaet, og i større grad å forstå hvordan elevene tenker i det de løser ulike oppgaver. Kvalitativ forskning kan også ses som en måte å forstå, beskrive og enkelte ganger også forklare ulike sosiale fenomen, fra innsiden (Nilssen, 2012). Målet med kvalitativ analysemetode i denne oppgaven er å samle inn informasjon, for å bedre kunne danne seg et bilde av elevenes tanker og de meninger de har omkring beregningsoppgaver.

Fenomenologi innenfor kvalitativ forskning handler om å forstå sosiale fenomener ut ifra informantenes egne perspektiv, slik de opplever verden (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 33). I fenomenologiske analyser er det ønskelig å analysere meningsinnhold i datamaterialet (Johannessen, Tufte, & Christoffersen, 2010) I dette forskningsprosjektet er det ønskelig å få en dypere forståelse av hvordan elevene arbeider i møte med beregningsoppgaver, og i analyse av datamaterialet vil jeg til en viss grad lese og tolke elevenes besvarelser og transkripsjon av intervjuene for å finne ut hvordan elevene tenker i kjemi. En vesentlig aktivitet i kvalitativ forskning er koding og kategorisering (Nilssen, 2012), dette gjøres for å kunne skape et oversiktlig bilde av datamateriale samt hente ut interessante og sentrale temaer (Johannessen et al., 2010). I tillegg er en slik prosess med på å skape mening i datamaterialet. For dette forskningsprosjektet er både oppgaver og elevbesvarelser blitt kategorisert, og det har også blitt gjennomført intervjuer av elever for å kunne besvare problemstilling og forskningsspørsmål. Fremstilling av resultater er presentert skjematisk, bestående av diagram og tabeller, men har også caser inkludert.

Et viktig stikkord i løpet av denne perioden har vært fleksibilitet, hvor arbeidet ikke har foregått lineært, men det har vært en pendling mellom ulike faser og metoder i forskningsarbeidet. Ved å arbeide med analyse av besvarelser og transkripsjoner delvis parallelt har det skjedd en utvikling i forståelsen av datamaterialet, og dermed også for problemstillingen. Likevel ses det på som en fordel å ha analysert prøvebesvarelsene før det ble tatt fatt på intervju, da min egen forståelse og innsikt i temaet var betraktelig høyere etter analyse av prøvebesvarelsene enn ved start av prosjektet.

3.2 Prøvebesvarelser

I denne masteroppgaven vil jeg prøve å finne ut hvordan elever løser beregningsoppgaver i kjemi, blant annet ved å identifisere ulike typer feil elever gjør. Derfor er det samlet inn og analysert prøvebesvarelser fra en tredjeklasse ved en videregående skole i Vest-Norge, i faget kjemi 2. Prøvebesvarelsene som er analysert beskrives nærmere i 3.2.1 og analysemetoden som ble brukt er beskrevet i delkapittel 3.2.2. Dette gjøres i tråd med det første forskningsspørsmålet, hvor det er ønskelig å finne ut hvilke feil som finnes i besvarelsene til elevene, og anses som en passende metode for å innhente denne typen informasjon.

3.2.1 Utvalg og datainnsamling

Som del av et pågående prosjekt har veileder samlet inn prøvebesvarelser over tid. Til mitt prosjekt ble det hentet inn to prøver, en kapittelprøve og en årsprøve, fra en kjemi 2-klasse ved en videregående skole i Vest-Norge. Her var det 13 elever som hadde samtykket til å dele sine prøvebesvarelser, og dermed inneholdt datamaterialet totalt 26 prøvebesvarelser. Prøvene ble så gjennomgått, og det ble foretatt et utvalg av de oppgavene som inneholdt beregninger, videre ble det konkretisert ned til de aktuelle deloppgavene som besto av beregninger.

Utvalget av prøvebesvarelser som har dannet grunnlag for denne analysen besto derfor kun av oppgaver hvor elevene måtte utføre en form for kalkulering for å komme fram til et svar.

Dermed sto jeg igjen med tilsammen 10 deloppgaver på de to prøvene. Dette ga et datamateriale på ca. 130 oppgavebesvarelser, men da ikke alle elevene hadde besvart alle oppgavene, er det totalt analysert 103 skriftlige oppgavebesvarelser.

3.2.2 Analysemetode for prøvebesvarelser

Prosedyre- eller rutineoppgaver innebærer etter Doyles (1983) kategorier for akademiske oppgaver, at elevene skal bruke en standardisert eller forutsigbar formel for å produsere svar.

Slike typer oppgaver kan ofte fullføres uten noen form for dypere forståelse. I Blooms reviderte taksonomi (Krathwohl, 2002) er dette oppgaver som benytter seg av den kognitive prosessen om å anvende, altså gjennomføre eller bruke, en prosedyre i en gitt situasjon. Likevel opplever jeg at det er vanskelig å si om en oppgave er en prosedyreoppgave eller ei, da dette i stor grad avhenger av ferdighetsnivået til elevene. For noen elever vil en oppgave kreve mer enn det den gjør av andre. Datamaterialet brukt i mitt masterprosjekt består, som nevnt, utelukkende av beregningsoppgaver og med å ta utgangspunkt i rammeverket utviklet av Smith et al. (2010) og kategorien algoritmiske oppgaver er det valgt å dele oppgavene inn etter kompleksitet. Derfor er det tenkt at oppgavene enten er av typen *enkle* eller *komplekse*.

Enkle oppgaver:

Enkle oppgaver består av ett eller få beregningstrinn, hvorav elevene kan bruke opplysninger og verdier i oppgaveteksten uten særlig modifisering og utregninger for å komme fram til en løsning. Eksempler på slike oppgaver er oppgaver hvor elevene bes om å regne ut stoffmengder, konsentrasjoner, regne ut cellepotensialer og lignende algoritmer.

Komplekse oppgaver:

Disse oppgavene består av flere beregningstrinn, og krever i større grad en form for tolkning av opplysningene som gis i oppgaveteksten, hvor det gjerne ikke er like eksplisitt hvordan tallene skal anvendes, og i hvilke rekkefølger beregningene skal skje. Eksempler på slike oppgaver er oppgaver hvor elevene skal regne ut pH i en buffer, utbytteoppgaver, finne masse av et stoff i en ukjent prøve og lignende.

Etter å ha kodet beregningsoppgavene som ble gitt på prøvene, består analysen videre av elevbesvarelser, hvor formålet var å kode besvarelsene etter hvordan elevene løser oppgavene. Her var det ønskelig å se på om elevene løser oppgavene korrekt eller ukorrekt. Kategorisering av feil i prøvebesvarelser faller under en tverrsnittbasert inndeling av data, hvor det er ønskelig å konstruere et system for å sortere mengde data, og gjøre det mulig å identifisere ulike temaer i datamaterialet (Johannessen et al., 2010). Her er det ønskelig å si noe om hvilken kategori feil som besvarelsen havner i, ikke hver enkelt feil som besvarelsene inneholder. Ved å lage slike kategorier som de ulike elevbesvarelsene plasseres i, har man også det som kalles en kategoribasert inndeling (Johannessen et al., 2010).

Kategoriseringssystemet som ble brukt er utviklet underveis, men inspirert av VanLehns (1982) inndeling av feil hos elever, altså såkalte «bugs» og «slip ups».

Kategoriseringssystemet som ble utviklet er revidert opp til flere ganger. Disse endringene har også blitt diskutert med både veileder og medstudenter.

For denne analysen er det laget fire hovedkategorier som elevbesvarelsene deles inn i. Disse kategoriene skal kartlegge om elevenes besvarelser er riktige eller uriktige, og for sistnevnte hvilke slags feil elevene gjør for at besvarelsen blir gal. Enkelte kategorier inneholder også underkategorier, som bedre skal hjelpe å beskrive hva elevene gjør i det de produserer en løsning. Hver oppgavebesvarelse blir kodet innenfor en kategori, men for de komplekse oppgavene blir også de ulike beregningstrinnene analysert. Dette gjøres for å fange opp kompleksitet både i besvarelsene, men også i elevenes tenkning som ligger bak.

Kategoriseringen har blitt utført i programmet NVivo 12, et dataprogram som brukes for ustrukturerte data i kvalitative analyser.

I utgangspunktet ble prøvebesvarelsene delt inn i tre ulike kategorier;

1. Korrekt
2. Feil som ikke forplanter seg
3. Algoritmiske feil

Da jeg opplevde at enkelte oppgavebesvarelser ikke falt innenfor disse, ble det imidlertid opprettet en fjerde kategori; mangler i kjemiforståelse. Etter å ha gått gjennom besvarelsene flere ganger opplevdes likevel ikke disse kategoriene helt som dekkende. Kategori 2 «feil som ikke forplanter seg» skulle være typiske slurvefeil, for eksempel tastefeil på kalkulator eller nedskrevet feil tallverdi, men jeg innså at det å bruke begrepet «forplanter seg» ble galt, i den grad at de i oppgavesammenheng var feil som forplantet seg og produserte feil svar. Dermed ble kategorien endret til «utilsiktede tallforandringer» som innebærer såkalte ikke-systematiske feil.

Kategori 3 «algoritmiske feil», begynte som besvarelser med feil i formel. I den forstand at eleven enten brukte feil formel, skrev ned formelen galt, eller at elevene manipulerte formler for å få et ønsket svar. Oppgavebesvarelsene som ble kategorisert innenfor denne kategorien bar preg av at elevene modererte formlene til sine tall slik at beregningene produserte et svar de anså som korrekt, eller at elevene ikke visste hvilken formel som kunne gi ønsket svar og dermed endte opp med å kombinere flere.

Kategori 4 «Mangler i kjemiforståelse» bar preg av besvarelser hvor det kunne tyde på at elevene slet med kjemien bak beregningen, og dermed endte opp med å gjøre feil. Dette kunne skje ved at elevene brukte feil verdier eller at de ikke vet hvordan de skal bruke informasjonen i oppgaven. Etter å ha gått gjennom både besvarelser og kategorier både på egenhånd og i samsvar med andre, fant jeg ut at det er vanskelig for meg å kunne si noe om elevenes forståelse ut ifra de besvarelsene jeg har, og jeg innså at på mange måter bunner de fleste algoritmiske feilene i kjemikunnskapene til elevene. Ved å slå sammen denne kategorien med kategori 3, og endre navnet til «feil som skyldes bearbeidinger» opplevdes det som en mer klar og tydelig kategori. De oppgavebesvarelsene som ble kodet som «mangler i kjemiforståelse» inneholder en form for modifisering. Når elevene innser at deres forståelse kommer til kort, må de prøve å reparere og trikse til sin besvarelse med de forutsetninger som de har. I tillegg ble det laget underkategorier, som førte til at det dekket datamaterialet i enda større grad. Kategoriene som jeg endte opp med å dele besvarelsene inn i er:

1. Korrekt

Elevene bruker riktige formler og utfører riktige beregninger som medfører at eleven får korrekt svar på oppgaven. Besvarelser som faller innenfor denne kategorien må inneholde riktig fremgangsmåte, ikke kun riktig svar, for enkelte oppgaver finnes det flere riktige fremgangsmåter for elevene å velge mellom.

Eleven skal regne ut konsentrasjon av EDTA i en løsning. Bruker informasjon i oppgaven

riktig og regner først ut stoffmengde = $\frac{3,8359g}{372,24g/mol} = 0,010305 \text{ mol}$, deretter regner eleven

ut konsentrasjonen = $\frac{0,010305 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0,010305 \text{ mol/L}$.

1.1 Korrekt svar, ingen beregninger

Det finnes et par besvarelser hvor elevene har produsert riktig svar, men besvarelsene deres inneholder ikke utregninger.

2. Utsiktet tallforandring

Elevbesvarelsene inneholder ikke-systematiske feil, som ofte fører til feil tallverdi. Feilen er knyttet til utførelse og er ustabile i den forstand at den mest sannsynlig ikke er en gjentagende feil. Slike feil kan kalles «slip ups», en liten og som regel slurvete feil. Her ble det funnet tre ulike typer feil; tastefeil på kalkulator, legger til et siffer i et tall, eller som i eksempelet under hvor eleven endrer et siffer fra et trinn til et annet.

Eleven har i en utregning fått at stoffmengde = $4,33 \times 10^{-3}$ mol, men i neste linje har eleven notert ned 10^{-4} . I neste deloppgave bruker eleven stoffmengde = $4,33 \times 10^{-4}$ mol, og ender dermed opp med feil stoffmengde og dermed også ukorrekt masse.

3. Feil som skyldes bearbeidinger

Elevbesvarelsene inneholder feil bruk av formel eller algoritme, eller at elevene anvender opplysningene i oppgaven feil. Det vil si at elevene bearbeider algoritmene, slik at informasjon og formel stemmer overens. Elevene prøver å reparere eventuelle hull, og ender opp med såkalt «tinkering», hvor de blander sammen algoritmer og bruker triksing og fiksing i besvarelsen for å få ønsket resultat.

3.1 Tall i formel

For elever som utøver denne type feil i sine besvarelser handler det om at de anvender de tallverdiene de finner i oppgaveteksten og putter dem inn i en kjent formel. Elevene anvender riktig formel, men benytter verdiene eller størrelsene feil.

Elev skal regne masseprosent av sølv i en gjenstand, hvor det oppgis masse til gjenstand og masse til bunnfallet, som er sølvklorid.

Eleven regner da ut $\frac{\text{Masse bunnfall}}{\text{total masse gjenstand}} \cdot 100\%$.

3.2 Bruker opplysninger, transformerer i nye tall

For elever som utøver denne type feil i sine besvarelser anvender også disse riktige formler og opplysninger, men de ender opp med å modifisere og transformere enten tallverdier eller formler underveis som gir et annet resultat.

Eksempel: Eleven skal regne ut masse per 100 gram, og anvender massetetthet og skriver formelen $\frac{3,35\text{g/L}}{1,05\text{g/L}} = 3,19\text{g} \div 100 = 31,90\text{ mg}$. Her blir ganges og deles det, for å få et tall som skal være tilnærmet likt ett tall de får oppgitt i oppgaveteksten.

3.3 Manglende anvendelse av relevant informasjon

For disse type feil handler det om at elevene i en kompleks oppgave ender opp med å ikke utføre et ledd, og dermed ender opp med feil løsning.

Elevene skal bestemme masse magnesium og kalsium i en prøve ved titrering. I første deloppgave finner elevene ut masse kalsium. Når de bes om å finne magnesium, må de trekke fra stoffmengde kalsium fra forrige deloppgave. De som unnlater dette har ikke feil i sine beregninger, men feilen ligger i å ikke anvende nødvendig informasjon, og dermed kutte et beregningstrinn.

4. Feil som ikke lar seg analysere

Elevbesvarelser viser feil som det ikke er mulig å kategorisere ut ifra den informasjonen besvarelsen gir. Det er vanskelig å si noe om elevens tenkning uten at det blir antagelser eller gjetninger.

Eleven har i en oppgave hvor det er ønskelig at pH til en buffer skal regnes ut, skrevet $\text{pH}=0,9$, uten noen forklaringer eller beregninger som viser hvor dette tallet kommer fra.

3.3 Oppgavebasert elevintervju

Formålet med kvalitative forskningsintervju er å forstå ulike sider av perspektivene til intervjuobjektet (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 20). Med bakgrunn i forskningsspørsmålene, og særlig det andre forskningsspørsmålet som etterspør hvilken informasjon besvarelsene kan fortelle om hvordan elevene tenker i kjemi, ble det bestemt at intervju kunne være informativt. Jeg bestemte dermed at et kvalitativt forskningsintervju kunne være en god måte

å supplere til de innsamlede dataene, og dermed gi mer innsikt i hvordan elevene tenker i møte med beregningsoppgaver, og hva som er meningen bak det de gjør.

Jeg valgte å ha et oppgavebasert intervju, hvor elevene forklarte egen tenkning imens de løste oppgaver (Maher & Sigley, 2014). Slike intervjuer brukes særlig i matematiske sammenhenger, hvor det er ønskelig å observere matematisk problemløsning (Goldin, 1997). Hensikten med slike intervju er å observere informantenes matematiske handlemåter, og trekke slutninger ut ifra observasjoner for å kunne si noe om deres kunnskapsstrukturer og kognitive prosesser underveis i intervjuet (Goldin, 1997). For disse intervjuene var det beregningsoppgaver elevene skulle løse, og dermed fant jeg en slik form for intervju passende. Gjennom et oppgavebasert intervju var det ønskelig å få enda større innsikt i hvordan elevene bruker sin kunnskap til å komme fram til en løsning; hvordan henter de ut relevant informasjon, hvordan velger de steg underveis i oppgaven, hva gjør de når de opplever usikkerhet, hvilke strategier bruker de for å kontrollere egne svar, og hvordan tolker de svarene sine. Et slikt intervju er designet på den måten at elevene ikke bare samhandler med den som intervjuer, men også med et oppgavesett som er planlagt på forhånd. På denne måten er det ønskelig å kunne skape et bilde av elevenes faglige ideer, strukturer og hvordan de resonnerer (Maher & Sigley, 2014).

Intervjuet blir i denne oppgaven brukt som et supplement til prøvebesvarelsene som allerede er hentet inn, dette fordi prøvebesvarelsene er begrenset i den form at de ikke viser så mye mer enn akkurat det som står skrevet. Ved å ha intervjuer er det mulig å be elevene om å utdype det de gjør, og forklare nærmere hva som er meningene bak det.

Oppgavene som er samlet inn forteller ikke like mye om de prosessene elevene benytter seg av når de arbeider med kjemiske og matematiske ideer (Maher & Sigley, 2014), og jeg ønsket derfor å belyse dette i større grad ved hjelp av intervju.

Til intervjuet ble det brukt en semi-strukturert intervjuguide, hvor spørsmålene var ment til å veilede i ulike situasjoner som kunne oppstå underveis i intervjuet, i tillegg var det tenkt at spørsmålene skulle få elevene til å komme med mer utdypende informasjon (Johannessen et al., 2010). Den delvis strukturerte formen ga også muligheter for at jeg som forsker kunne modifisere ut ifra egen bedømmelse i løpet av intervjuet (Maher & Sigley, 2014), og dette skapte en god balanse mellom fleksibilitet og standardisering (Johannessen et al., 2010).

3.3.1 Utvalg og gjennomføring av intervju

Når det kommer til utvelgelse av informanter til intervju ble det brukt såkalt bekvemmelighetsutvalg, som innebærer at utvelgelse blir mest bekvemmelig og enklest mulig (Johannessen et al., 2010). Årsaker til dette var at det var ønskelig å gjennomføre intervjuer snarest mulig, og på grunn av eksterne faktorer som eksamensforberedelser ble det konkludert med at så lenge noen elever ønsket å stille til intervju var det positivt. Veileder var i kontakt med ulike lærere for å høre om mulighet for å intervju noen av deres elever, og tre elever i en kjemi 1-klasse var positive til å la seg intervju. Det ble så opprettet kontakt mellom meg og faglærer og det ble planlagt tid for intervju.

De tre intervjuene ble alle gjennomført i mars 2019 ved intervjuobjektens skole. Hvert intervju varte mellom 25-30 minutter, og det ble gjort videoopptak av intervjuene, da de var basert på at elevene skulle løse oppgavene. Som nevnt tidligere var disse oppgavene forberedt på forhånd. Elevene ble utstyrt med et GoPro-kamera på brystet, slik at det eneste som var synlig var hendene deres samt bordet utstyrt med kalkulator, papir og penn. Jeg var plassert ved siden av dem slik jeg kunne se hva de skrev ned, men samtidig også opprettholde en god kontakt. Det var viktig at situasjonen opplevdes som trygg for elevene, slik at det kunne være mulig å få tak i deres opplevelser og refleksjoner (Tjora, 2017, s. 118). Som nevnt tidligere var det ønskelig å få gjennomført intervjuer snarest mulig, og dermed gikk det kun tre dager fra avtale til gjennomføring av intervjuene. På grunn av tidspress i skolen ble det kun satt av én time til intervju av tre elever, og det ble dermed bestemt at ett av intervjuene skulle utføres av en medstudent. Dette ble diskutert og avklart med veileder og faglærer på forhånd. Det skal også nevnes at jeg etter endt intervju fikk tilgang til intervju-elevenes prøvebesvarelser, slik at jeg kunne sammenligne løsningsmetode på prøve med løsningsmetode i intervjusammenheng.

3.3.2 Intervjuguide

Som nevnt tidligere var intervjuene basert på at elevene skulle løse oppgaver. Det innebærer at det på forhånd var utformet oppgaver som elevene skulle få utdelt på intervjuet. To av tre oppgaver var hentet fra en prøve elevene hadde hatt timen før. Oppgavene som ble gitt i intervjuene er lagt ved i vedlegg 2.

Intervjuguiden (vedlegg 1) ble laget ut ifra hva som var ønskelig å avdekke mens elevene gjorde oppgavene, og hensikten var å prøve å få elevene til å forklare hvordan de tenker

underveis i problemløsningen. Første del av intervjuet besto av mer generelle spørsmål, om elevenes motivasjon for å velge kjemifaget samt hva de fant interessant og mindre interessant i faget. Slike fakta-spørsmål ble stilt for å få generell informasjon, men samtidig også for å roe ned situasjonen for elevene. I den første fasen av intervjuet ble det etablert en relasjon og et tillitsforhold, og det var dermed viktig å ikke stille spørsmål som kunne oppleves skremmende eller provoserende for elevene (Johannessen et al., 2010). Etter å ha arbeidet for å skape en trygg atmosfære ble oppgavearbeidet initiert.

I andre del av intervjuet fikk elevene utdelt oppgavene, og ble bedt om å forklare underveis hvordan de tenkte når de løste oppgaven. Det ble presisert for elevene at hensikten ikke var å teste deres kunnskap, men snarere å få et innblikk i hvordan de tenker når de arbeider med beregningsoppgaver. Det ble også tydeliggjort at spørsmålene som jeg stilte underveis ikke var ment for å teste hva de greide og ikke greide, men å få dem til å utdype de tanker som ikke kommer eksplisitt frem på papiret. Derfor ble elevene oppfordret til å forklare stegene i løsningsprosessen. Et annet viktig hjelpemiddel i intervjuet var taushet. Det var ønskelig at elevene skulle dele sine tanker, og det ble derfor forsøkt å bruke taushet som et middel for å komme videre i intervjuet, og la elevene få reflektere og assosiere på egen hånd (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 167). Spørsmålene utformet i intervjuguiden var også ment som veiledning for når elevene ble litt stille, eller hvis det oppsto situasjoner på papiret som jeg ønsket å få mer informasjon om.

3.4 Databehandling og analyse av intervju

3.4.1 Transkripsjon

I dagene etter intervjuene ble videoene sett igjennom av både meg og veileder hver for oss. Deretter ble ulike interessante situasjoner studert og diskutert i fellesskap, både med veileder, men også med medstudent som holdt ett av intervjuene. Videre ble de delene av intervjuene som var relevante transkribert i Nvivo 12, hvor muntlig diskurs ble omgjort til skriftlig (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 204), som muliggjør en analyse av materialet. Jeg transkriberte intervjuene selv, noe som gjorde at jeg ble godt kjent med materialet, i tillegg til at informasjon om stemning, uttrykk og kroppsspråk ikke forsvant i oversettelsen. Selv om dette var et videointervju er ikke intervjuobjektet synlig i videoopptaket, og derfor er slik informasjon nyttig.

Transkripsjon som tekst vil aldri bli helt nøyaktig, da det ligger en fortolkning i observasjoner og oppsummeringer, gjort av meg som den forskende (Nilssen, 2012), som vil tas med videre i analysen. I tillegg mister man tonefall, mimikk og gester i omgjøringen til tekst, og for å beholde noe av det muntlige er det notert ned pauser hvor elevene tenker, skriver, om elevene ler litt nervøst og lignende situasjoner. I denne form for intervju løser elevene som nevnt oppgaver, og da er de punktene hvor elevene stopper opp og tenker vesentlige for prosessen. Småord og uttrykk som «eh», «mm» og lignende ble også notert ned, da disse kunne indikere usikkerhet eller at elevene var nølende (Nilssen, 2012). I tillegg ble det aktuelt å normalisere alle intervju. Det vil si at selv om intervjuobjektene prater på dialekt ble intervjuene ble transkribert på bokmål (Tjora, 2017, s. 174). Det ble likevel tatt hensyn til eventuelle dialektord med en sterk betydning.

Videoanalyse skaper en god mulighet til å analysere det mellommenneskelige samspillet, som kan forsvinne når man kun hører på lydopptak (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 206), for denne analysen var det, som nevnt tidligere, kun hendene til elevene som var synlige. Likevel ga dette et mer helhetlig bilde, da jeg gjennom transkriberingsprosessen kunne legge merke til hvordan elevene fiklede med penn, hårstrikk og lignende samt gestikulerte underveis. I tillegg ble det tydelig om elevene var nølende til oppgavene, eller om de var raske med å begynne å løse dem. Etter at jeg hadde transkribert ferdig sjekket jeg dokumentene over videofilene, for å se om jeg har fått en så korrekt gjengivelse som mulig.

Transkripsjonene er ikke lagt ved masteroppgaven, men i resultatdelen er sitater og situasjoner som jeg har funnet relevante gjengitt og tolket. Det er også gjengitt enkelte eksempler på hva elevene har notert i sine oppgaveløsninger. Dette kan også føre til en styrket validitet, da lesere vil få et innblikk i datamaterialet som er med å danne grunnlag for denne oppgaven. I tillegg kan lesere sjekke om deres synspunkt stemmer overens med mine tolkninger av utsagn og utførelser gjort av elevene (Tjora, 2017).

3.4.2 Analyse og tolkning

Forskeren er selv det viktigste instrumentet i kvalitativ forskning. Dette betyr at forskeren samler inn datamaterialet, og i tillegg til å tolke og analysere resultatene (Nilssen, 2012). Gjennom en analyse av kvalitative data er det et mål å gjøre det mulig for lesere av forskningen å øke sin kunnskap om temaet, uten å være nødt til å sette seg inn i alt

datamaterialet som har blitt generert gjennom forskningsprosjektet (Tjora, 2017, s. 195). Gjennom analyseprosessen har det blitt arbeidet systematisk og strukturert gjennom datamaterialet, for å komme fram til funn, som videre har blitt fortolket for å skape en mening til dem (Nilssen, 2012).

I min masteroppgave har jeg hatt to analyseprosesser; analyse av elevbesvarelser og analyse av intervju. Likevel kan disse ses på som en stor analyseprosess, hvor funnene gjort i elevintervju var med å belyse funn som ble gjort i analysen av elevbesvarelser, og motsatt. Analysen av elevbesvarelser er beskrevet i kapittel 3.2.2 og analyse av elevintervju vil bli gjort rede for nedenfor.

Etter at elevbesvarelsene ble kategorisert etter systemet beskrevet i kapittel 3.2.2 ble det først sett på antall korrekte og ukorrekte besvarelser fordelt på de ulike oppgavetyperne. Deretter ble det sett på hvor mange feil som falt innenfor de ulike kategoriene. Det ble med andre ord utført en tversnittbasert dataorganisering, hvor det ble sett på hele datamaterialet og laget et system for kategorisering (Johannessen et al., 2010), først en inndeling av ulike typer oppgaver, og deretter en inndeling av elevbesvarelser innenfor ulike kategorier feil. De komplekse oppgavene ble så brutt ned, og de ulike beregningstrinnene ble studert, for å få en bedre oversikt over hver enkelt besvarelse, og hvilke typer feil som ligger i de ulike. Deretter ble det sett på hyppighet, fellestrekk og trender i datamaterialet for å kunne forklare hvordan elevene går fram når de løser beregningsoppgaver i kjemi. Elevenes løsningsmetoder ble forklart og tolket etter hva som kan tenkes å være meningene bak dem.

Ved analyse av intervju ble det brukt en form for konseptuell dataorganisering, hvor det heller var ønskelig å se på ulike caser (Johannessen et al., 2010). Gjennom intervju ble det synliggjort flere interessante situasjoner, som det var ønskelig å se på. Første steg i analyse av transkripsjonene fra intervju var å lese gjennom dokumentene, for å få et helhetlig bilde. Deretter ble det notert ned generelle faktorer, det vil si ting jeg opplevde gikk igjen hos elevene, fellesnevnerne i deres løsningsmetoder. Videre ble det valgt ut enkelte eksempler på elevbesvarelser som kan være med å forklare og belyse de løsningsstrategiene som er funnet blant oppgavebesvarelsene (Cohen, Manion, & Morrison, 2011). Etter å ha studert elevbesvarelsene og kategorisert dem har jeg fått et større innblikk i både korrekte og ukorrekte besvarelser, og situasjonene fra elevintervju som er beskrevet i denne oppgaven er valgt ut på grunnlag av de er ment å belyse ulike aspekter ved elevtenkning i

oppgaveløsningen. Både de tankeprosessene elever gjør når de besvarer en oppgave feil, men også hvordan elevene generelt utfører algoritmer ved beregningsoppgaver. Det er blant annet valgt ut en situasjon hvor den ene eleven løser en oppgave feil, hvor elevene ender opp med å bearbeide underveis for å komme fram til en løsning. For de to andre elevene er det i større grad sett på fellesnevnerne mellom deres utførelse av algoritmer, og gjengitt et par situasjoner som jeg har funnet interessante. Gjengivelser fra intervjuene består av sitat som er blitt omgjort til lesbar, skriftlig form, og i tillegg er sitatene kontekstualisert, tolket og relatert situasjonen (Kvale & Brinkmann, 2015).

3.5 Studiens kvalitet

3.5.1 Pålitelighet

Relabilitet, eller pålitelighet, omhandler det å være konsekvent og en mulighet for å reproducere resultater over tid (Cohen et al., 2011). For at forskning skal være pålitelig skal det være mulig for andre å utføre det på en lignende gruppe informanter, i en lignende kontekst, med en mulighet for å oppnå et lignende resultat (Cohen et al., 2011). I en intervjukontekst betyr dette om elevene ville endret sitt svar i intervju med en annen forsker, eller om de ville produsert samme svar (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 276). Når det kommer til de oppgavebaserte intervjuene fikk jeg, som nevnt, tilgang på elevenes prøvebesvarelser, og kunne dermed sammenligne de svarene de produserte i intervjuet med de som ble produsert i en prøvesituasjon. Her var det stort nøyaktighet. I tillegg tenker jeg at de forskjellene som fant sted kan skyldes situasjonsoppfatningen til elevene. Elevene ga uttrykk for at de var komfortable, men samtidig er det en ny, litt stresset situasjon, med et fremmed menneske og teknisk utstyr, som nok uansett kan ha en form for påvirkning. I tillegg vil jeg som forsker og intervjuer ha en innvirkning. Måten jeg formulerer meg og stiller spørsmål på kan påvirke elevenes i deres svar. Likevel besto intervjuet i størst grad av at elevene pratet og forklarte hva de gjorde, og jeg forsøkte å holde meg så nøytral som mulig.

I kvalitative studier kan det være vanskelig å kunne gjenskape forskning av ulike årsaker; blant annet er datainnsamling ikke like strukturert som ved kvantitativ metode, da den ofte er resultat av dialoger. I tillegg bruker forsker seg selv som instrument, og har dermed med seg sin bakgrunn og egne erfaringer inn i forskningen (Johannessen et al., 2010). For å åpne troverdighet er det derfor viktig med god beskrivelse av kontekst, som her er prøvd oppnådd

gjennom metodedel. Videre er det i resultatdelen presentert ulike caser, med forklaring av både oppgavene elevene har fått utdelt og deres besvarelser. Slike caser er valgt ut både for intervju og for prøvebesvarelsene. Dette er gjort for at leser skal få størst mulig innsikt i datamaterialet jeg har basert analysen min på. I tillegg er det også inkludert ulike sitater fra elevene, som kan gi leser en mulighet til å forstå hva jeg har basert mine tolkninger på samt gjøre egne tolkninger. Dette er gjort for å støtte opp om egen troverdighet, i tillegg til å gjøre det lettere for leser og forstå hva jeg har hatt som utgangspunkt.

3.5.2 Gyldighet

I kvalitative data kan validitet, eller gyldighet henvendes gjennom ærlighet, dybde, omfang av oppnådde data, deltakerne, omfang av triangulering og forskers objektivitet (Cohen et al., 2011). I en annen betydning snakker vi om de observasjoner vi gjør oss kan reflektere de fenomenene eller variablene som vi undersøker (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 276).

Objektivitet som begrep kan være flertydig, og man kan snakke om det som enten 1) frihet fra ensidighet, 2) refleksiv objektivitet og 3) dialogisk intersubjektivitet (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 273).

I forhold til 1) frihet fra ensidighet er det snakk om kunnskap som er etterprøvd og kontrollert (Maher & Sigley, 2014). I mitt tilfelle er både intervju og prøvebesvarelsene gjennomgått ved flere anledninger, kodet og rekodet opptil flere ganger. I tillegg er de gjennomgått og revidert med både medstudenter og veileder. I tillegg har det brukte kategoriseringssystemet blitt revidert opptil flere ganger, for å skape et mest helhetlig bilde av datamaterialet analysert.

Når det kommer til 2) den refleksive objektiviteten er jeg klar over at jeg som forsker vil komme med enkelte bidrag til denne kvalitative forskningen. I analyse av prøvebesvarelsene endte jeg dermed opp med å lage en fjerde kategori kalt «*feil som ikke lar seg analysere*» da jeg var klar over at i enkelte tilfeller ville ikke oppgavebesvarelsen gi meg tilstrekkelig informasjon til å vite hvilke feil eleven vedgår, og min tolkning ville da bli overordnet. I tillegg vil mine erfaringer underveis i intervjuet også ha viss innvirkning, men det er her prøvd å se på ulike situasjoner med nye øyne, både alene og med veileder. Når det kommer til egen intervjustil hadde det vært en fordel å ha hatt intervjuene mer fordelt, slik at jeg kunne innrettet meg litt om det hadde vært nødvendig. Som nevnt tidligere måtte intervjuene avholdes samme dag etter hverandre, og det var dermed ikke mulighet for å se over video-

opptak for forbedring. Hadde dette latt seg gjøre, kan det hende jeg i enda større grad kunne fått elevene til å utdype egne tanker. Det ble likevel vurdert at intervju uansett ville være et positivt innspill til datamaterialet, og kan tilføre mer kunnskap omkring det.

Den dialogiske intersubjektiviteten innebærer å komme til en form for enighet gjennom rasjonell diskurs (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 273), gjennom diskusjoner med både veileder og medstudent har både prøvebesvarelser og intervju blitt gjennomgått og vi har endt på en felles forståelse av hva besvarelsen til eleven viser oss.

For å sikre en viss gyldighet foregår det en triangulering mellom ulike forskningsmetoder. Triangulering vil si å veksle mellom to eller flere metoder for å samle sammen data (Cohen et al., 2011). Både en form for dokumentundersøkelse og intervju ble benyttet for å skape en bedre forståelse av elevens måte å ta fatt på beregningsoppgaver på. I tillegg ble datainnsamling og intervju gjort i forskjellige klasser, noe som innebærer at det til dels er studert flere kontekster. Utvalget som er studert er funnet passende, da dette er elever som følger enten kjemi 1 eller kjemi 2 ved en videregående skole. I tillegg er størrelsen på datamaterialet tilpasset tidsskalaen jeg har måttet forholde meg til.

3.5.3 Generaliserbarhet

Når det kommer til generaliserbarhet er man ute etter å finne ut av om resultatene fra studien kun er gjeldende lokalt, eller om det er mulig å overføre dem til andre personer, kontekster eller situasjoner (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 289). Når det kommer til generalisering i kvalitative studier, og ved intervju, burde vi kanskje spørre, ifølge Kvale og Brinkmann (2015), hvordan den informasjonen og kunnskapen som produseres kan overføres til andre situasjoner. Ofte blir det i slike tilfeller snakk om en kontekstualisering, hvor man ser på kunnskapens mangfold og kontekstavhengighet (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 289).

I denne studien kan det foregå en analytisk generalisering, hvor det etter vurdering av funn sett i lys av teori, trolig vil være mulig å overføre resultatene til andre situasjoner – det vil si hvordan andre elever løser beregningsoppgaver i kjemi. Det er både gjort en helhetlig vurdering av hvilke typer feil elevene gjør, hvilke oppgaver disse feilene er knyttet til, og hvilke strategier elevene bruker når de løser beregningsoppgaver. I tillegg er det også sett nærmere på individuelle feil, og hvordan disse henger sammen med det helhetlige bildet.

Dette i ønske om å kunne dekke over flere elever, og forhåpentligvis gjøre at studien kan ha en overføringsverdi til andre kjemielever og forståelse av deres måte å ta fatt på beregningsoppgaver på. Utvalget for dette prosjektet er kjemielever ved norske skoler, og det er å tro at de følger standard undervisningsopplegg, men samtidig er det brukt elever fra ulike klasser og ulike kjemifag, som har ført til en viss variasjon i utvalget. Dermed er det å gå ut ifra at mye av tenkningen bak de studerte elevenes utførelser vil være gjeldende for andre elever også. Noe som uansett kan trekkes frem er at bak elevens feil ligger det mye logisk tenkning.

3.6 Etiske betraktninger

Etikken i forskningen er spesielt knyttet til intervju, og et ønske om å skjerme forskningsdeltakerne. Prosjektet er meldt til NSD som en del av et større forskningsprosjekt. Elevene som deltok i intervjuet fylte ut et samtykkeskjema og ble informert om mulighet til å trekke seg om det skulle være ønskelig. Det ble også opplyst at opptaket kun skulle brukes av meg samt min veileder. I tillegg ble det informert om at opptakene skulle anonymiseres, og elevene fikk pseudonymer. Dette for å beskytte forskningsdeltakerne gjennom konfidensialitet (Nilssen, 2012). Før intervjuene ble det også klargjort at jeg underveis i intervjuene ikke ville adressere dem med navn, for å hindre at dette også skulle komme med på opptak.

Elevbesvarelsene er også anonymisert og kodet, og vil derfor ikke være mulige å kunne spore tilbake til elevene. I tillegg kan det påpekes at verken intervju eller besvarelser inneholder særlig personlig informasjon om elevene som deltar i studien.

Underveis i min analyse har jeg måtte utført en rekke tolkninger av elevenes utførelser og begrunnelse for disse. Jeg har da gjennom hele denne prosessen prøvd å være så rettferdig som mulig, hatt respekt for elevenes arbeid og tolket i beste mening så langt det lot seg gjøre. Elevene har samtykket til at deres prøver skal være en del av mitt forskningsprosjekt, og dermed har det vært ønskelig å behandle deres besvarelser med rettferdighet. Dette innebærer at jeg er klar over, og tar hensyn til at de har gjort sitt beste, og at disse prøvene kun er en liten del av deres ellers travle liv.

3.7 Oppsummering

I dette kapittelet er det redegjort for de metoder som er brukt for å samle inn og analysere datamaterialet som danner grunnlag for denne masteroppgaven. I tillegg har jeg diskutert studiens kvalitet, med hensyn til pålitelighet, gyldighet og generaliserbarhet. Det har også blitt redegjort for ulike etiske betraktninger som har blitt tatt i løpet av prosjektet. Utvalget for denne oppgaven består av innsamlede prøvebesvarelser utført av elever fra en kjemi 2-klasse, i tillegg til tre elever fra en kjemi 1-klasse som stilte til intervjuer.

For dette prosjektet er det valgt et kvalitativt forskningsdesign bestående av analyse av oppgavebesvarelser og elevintervju med video-opptak. Disse metoder ble valgt med hensyn til de forskningsspørsmål som er presentert i delkapittel 1.1. Gjennom å analysere prøvebesvarelser, og elevintervju er det tenkt at dette skal gi tilstrekkelig informasjon om de feilene elevene gjør og hvordan de tenker ved beregningsoppgaver.

For analysen av oppgavebesvarelsene er det først lagt en inndeling etter kompleksiteten til oppgavene som elevene løste bestående av; enkle oppgaver og komplekse oppgaver. Deretter er det gjort en inndeling basert på hvordan elevene har løst oppgavene, om besvarelsene er korrekte eller ukorrekte, og for sistnevnte hva elevene har gjort for at løsningene i besvarelsene blir feil. Det er da delt inn i: korrekt, utilsiktede tallforandringer, feil som skyldes bearbeidinger, og feil som ikke lar seg analysere. Hvor kategori tre også har underkategorier. Funnene er presentert både i diagram, tabeller og med eksempler.

Intervjuene ble gjennomført med intervjuguide (vedlegg 1), og tatt opp med video-opptak, og videre transkribert i NVivo 12. Deretter ble det tatt utgangspunkt i ulike situasjoner og strategier som kunne være med å belyse ulike funn fra oppgavebesvarelsene.

Gjennom hele forskningsprosjektet er det forsøkt å holde fokus på pålitelighet og gyldighet. Dette gjennom en grundig redegjørelse av metodeprosess, og beskrivelse av hvordan jeg har arbeid med studien. I tillegg har jeg hatt fokus på egen rolle i forskningen, og redegjort for egen forforståelse og tolkninger. Ved å vise eksempler på besvarelser og sitater har det vært ønskelig at leser skal få et innblikk i de tolkninger jeg har gjort.

Det er også sett på generaliserbarhet og studiens overføringsverdi. På grunn av grundige beskrivelser av elevers fremgangsmåter ved beregningsoppgaver i kjemi, er det å tro at disse

kan overføres til andre kjemielever ved videregående skoler. Selv om studien baserer seg på et lite utvalg, er de trender som man finner igjen relativt generelle, og dermed er det trolig at studien har en viss overføringsverdi til andre kjemielever ved norske skoler.

Det er også redegjort for etiske hensyn tatt i løpet av prosessen. Prosjektet er meldt til NSD gjennom et større prosjekt, og både elevbesvarelser og intervjuer er anonymisert.

4 Resultater

I dette kapittelet vil funnene fra analysen presenteres. Først vil det bli redegjort for sammenhenger mellom oppgavetyper og elevfeil og typer feil elevene utfører. Dette vil gjøres gjennom å se på hvordan elevenes prøvebesvarelser falt under ulike kategorier i kategoriseringssystemet presentert i delkapittel 3.2.2. Så vil det bli presentert hvilke oppgaver disse feilene typisk «hører til», og ulike trender som finnes i datamaterialet vil bli beskrevet. For elevintervjuene vil det bli beskrevet hvordan elevene arbeider med både kjente oppgaver, oppgaver med feil og komplekse oppgaver. Disse funnene, fra både elevbesvarelser og elevintervjuene, vil belyses og det vil bli gjort en tolkning av disse.

4.1 Elevbesvarelser

Som nevnt i metode var det til sammen 10 beregningsoppgaver på årsprøven og kapittelprøven. Av disse 10 oppgavene er seks av dem klassifisert som komplekse oppgaver, hvorav tre av dem er på årsprøven, og tre på kapittelprøven. Fire av oppgavene er kategorisert som enkle oppgaver, hvor to av dem er på årsprøven og to på kapittelprøven. Disse oppgavene er løst av 13 elever. Hvis alle elevene hadde prøvd på alle oppgavene hadde jeg hatt 130 oppgavebesvarelser, men mitt datamateriale består av 103 besvarelser. Det vil si at 27 oppgavebesvarelser ikke er forsøkt løst.

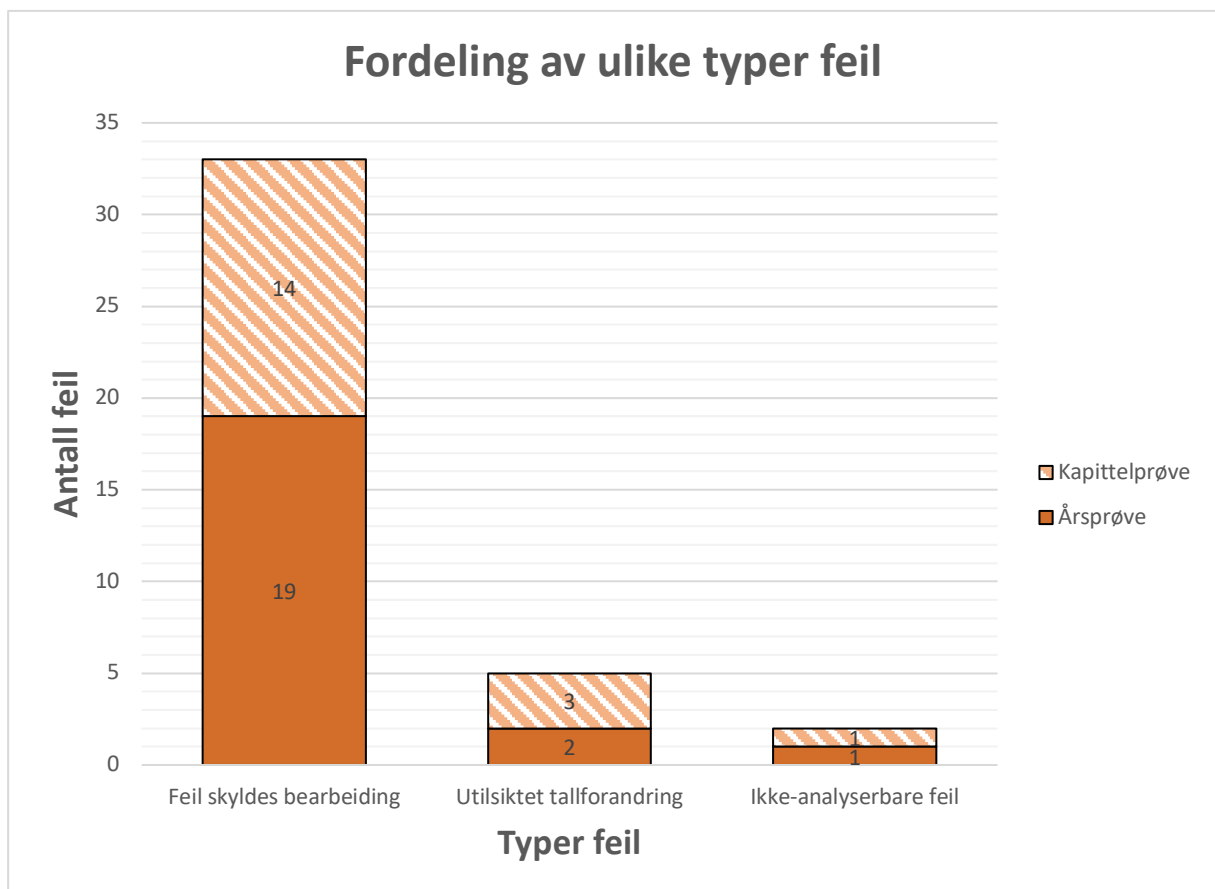
Tabell 1 Fordeling av korrekte og ukorrekte elevbesvarelser på oppgavetyper.

Oppgavetyper	Korrekt	Feil	Antall besvarte besvarelser	Antall uløste besvarelser	Totalt antall besvarelser
Enkle	34	10	44	8	52
Komplekse	29	30	59	19	78

Ut ifra tabell 1 er det tydelig at elevene gjør flere feil på de komplekse oppgavene sammenlignet med de enkle. De komplekse oppgavene inneholder over 50 % feil besvarelser, imens de enkle oppgavene kun inneholder 25 % feil. Totalt på årsprøve og kapittelprøve finnes det fire enkle oppgaver, dette utgjør 52 besvarelser om alle elevene hadde løst dem, og seks komplekse oppgaver, som utgjør 78 besvarelser om alle elevene hadde besvart dem. Hvis man ser på alle besvarelser, inkludert løst og uløst svarer elevene korrekt på ca. 65 % av de enkle oppgavene, og ca. 37 % på de komplekse oppgavene. De komplekse oppgavene er en

større del av datamaterialet, likevel vises det at færre løser disse korrekt, og flere lar være å løse dem.

Av 103 oppgavebesvarelser er 63 av dem kategorisert som korrekte (ca. 61%). Dermed sto jeg igjen med 40 besvarelser hvor elevene har gjort en form for feil. Disse ble da kategorisert enten som utilsiktede tallforandringer (ca. 5%), feil som skyldes bearbeidinger (ca. 32%) eller som ikke-analyserbare feil (ca. 2%). Fordelingen av ulike typer feil er vist i figur 1.



Figur 1 Fordeling av ulike typer feil på kapittel- og årsprøve

Fra figur 1 kommer det tydelig fram at majoriteten av feil skyldes bearbeiding, i tillegg at elevene gjør flest feil på årsprøven. Videre er det ønskelig å se på fordeling av type feil, inkludert underkategorier, på de ulike oppgavetyperne.

Tabell 2 Sammenheng mellom typer feil og oppgavetyper

Feil	Oppgaver	Enkle	Komplekse	Totalt
Utilsiktete tallforandringer		4	1	5
Tall i formel		6	14	20
Bruker opplysning, transformerer		0	7	7
Manglende anvendelse av relevant informasjon		0	6	6
Feil som ikke lar seg analysere		0	2	2
Totalt		10	30	40

Tabell 2 viser fordeling av ulike kategorier feil, fordelt på ulike typer oppgaver. Her kommer det blant annet fram at de enkle oppgavene inneholder flere slurvefeil enn de komplekse. Det skal likevel påpekes at det også finnes utilsiktede tallforandringer innad i de komplekse oppgavene, men besvarelsene er kategorisert innen en type feil, og typisk den som går på forståelse. Kategoriseringen omhandler den type feil besvarelsen havner innenfor, og ikke de enkelte feiltrinn som finnes i besvarelsen.

4.1.1 Enkle oppgaver

Korrekt

Fra tabell 1 kommer det fram at elevene gjør mest riktig på de oppgavene som krever enkle algoritmer.

En gjenstand av metall skal forsølves elektrolytisk i et sølvcyanidbad der gjenstanden er katode, og anoden er av rent sølv. Det settes på strøm på 10 A.

- *Regn ut hvor mange gram sølv som avsettes på gjenstanden i løpet av 15 minutter.*

Figur 2 Oppgave 3c(2) fra årsprøven

Oppgaven gjengitt i figur 2 er en typisk algoritmisk oppgave, hvor elevene skal fylle ut en formel med oppgitte tall. På denne oppgaven har 9 av 10 svart riktig. Den elevbesvarelsen som inneholder feil er en utilsiktet tallforandring (eleven inkluderer et ekstra siffer i Faradays konstant). Dette kan tolkes som at elevene generelt er flinke å følge en prosedyre, ved å fylle ut formler med oppgitte tall og dermed regne ut svar.

I en øvelse på et kurs i analytisk kjemi ved Universitetet i Bergen skal man undersøke mengden av kalsium og magnesium i en utlevert prøve ved hjelp av EDTA titrering. EDTA løsningen ble laget til ved at en veide inn 3,8359g EDTA i en 1000mL målekolbe og fortynnet til merket. Molarmassen til EDTA er 372,24 g/mol

- *Beregn konsentrasjonen av EDTA-løsningen.*

Figur 3 Oppgave 3a) fra kapittelprøve

Oppgaven i figur 3 er en annen typisk beregningsoppgave, hvor elevene løser oppgaven ved å følge en kjent prosedyre. Denne oppgaven har alle 13 elevene svart riktig på, noe som kan tolke som at elevene ikke har noe problem med de oppgavene hvor det er tydelig hvilken prosedyre som skal anvendes, og hvordan å anvende den. Dette tyder på at slike oppgaver er godt kjent for elevene. Beregninger med stoffmengde, masse og konsentrasjon er vanlige problemstillinger, og kan nesten ses på som en grunnstein i kjemiske beregninger.

Typer feil

De feilene som blir gjort på de enkle oppgavene er av typen bearbeiding – tall i formel, hvor elevene benytter seg av riktige formler, men de putter inn feil størrelser, for eksempel stoffmengde i stedet for konsentrasjon. Fra tabell 2 ser vi at datamaterialet inneholder 11 besvarelser med feil på typen enkle oppgaver, hvor totalt seks av disse feilene omhandler at de putter feil tall inn i formel. Fire av disse besvarelsene er knyttet til en oppgave hvor elevene skal regne ut bufferkapasitet, vist i Figur 4.

Vi blander 27,0 g NaH_2PO_4 (s) og 4,00g NaOH (s) i en 250 mL målekolbe og fortynner til merket.

- *Beregn bufferkapasiteten på sur side.*

Figur 4 Oppgave 4b) fra kapittelprøve

Denne oppgaven er kategorisert som en enkel oppgave, da elevene kun skal anvende konsentrasjon og stoffmengde, opplysninger som er beregnet tidligere.

Elevene bruker konsentrasjon i stedet for stoffmengde, noe som i og for seg er mulig, men ved å bruke konsentrasjon har man allerede funnet bufferkapasiteten for 1 liter. Deretter regner elevene videre, og tilsynelatende virker det som de tror de har regnet ut for 0,25L. Ved å fortsette å regne viser elevene at de har forstått at bufferkapasitet regnes for én liter, og at de

må ta hensyn til at volumet til bufferen var på 0,25L. Dette hadde vært korrekt om de hadde brukt stoffmengde og ikke konsentrasjon. Elevene utviser da en forståelse for bufferkapasitet, men alle blander sammen konsentrasjon og stoffmengde. De skriver stoffmengde, men bruker den utregnede konsentrasjonen.

Ellers finner man to utilsiktede tallforandringer knyttet til oppgaven i figur 4. De resterende fire feil på de enkle oppgavene er:

- to feil innenfor «putte tall i formel», hvor elevene bruker feil reduksjonspotensial i beregning av cellepotensial.
- To utilsiktet tallforandring i sammenheng med utregning av cellepotensial og på oppgaven beskrevet for figur 2, oppgave 3c(2).

4.1.2 Komplekse oppgaver

Ifølge tabell 1 skjer 31 av 42 feil når elevene skal løse komplekse oppgaver. Ut ifra disse er 27 repareringsfeil. Fordeling av disse ser vi tydelig i tabell 2, hvor kun fire av feilene skyldes slurv eller ikke er mulige å analysere. Slike komplekse oppgaver inneholder flere trinn med beregninger, og krever at elevene assosierer ulike algoritmer, og utviser en forståelse for sammenhenger og ideer bak dem. Etter å ha studert disse besvarelsene, og videre kategorisert de ulike trinnene i besvarelsen kommer det fram at den ofte ikke bare inneholder én feil, men at en besvarelse er bygget opp av flere både korrekte og ukorrekte trinn.

Tall i formel

Fra tabell 2 kommer det tydelig fram at flesteparten av feilene elevene gjør på de komplekse oppgavene er knyttet til algoritmer som omhandler å putte tall inn i formel. To av de seks komplekse oppgavene i datamaterialet er såkalte utbytteoppgaver, hvor elevene enten bes om å regne ut masseprosent eller synteseutbytte av en reaksjon. 12 av repareringsfeilene er knyttet til denne oppgavetypen, hvorav 11 av de skyldes at elevene bruker såkalt tall i formel-algoritme. Elevene er i disse oppgavene klar over hvilken formel som brukes for å regne ut prosentutbytte, men det som gjør at elevene ender opp med ukorrekt løsning er at de kun tar utgangspunkt i de tallene de finner i oppgaveteksten, uten å ta hensyn til:

- Synteseoppgave: om utgangsstoff og produkt er det samme.
- Masseprosent: at bunnfall består av sølvklorid, og det skal regnes ut masse sølv i en gjenstand.

Dermed blir også det utregnede utbytte feil. Elevene anvender korrekt algoritme, men mangler beregninger i forkant for å kunne ta i bruk formel for utbytteberegning. Ut ifra den informasjonen besvarelsene gir meg ser det ut som elevene går rett på den kjente prosedyren, putter inn tall de finner i oppgaveteksten, og tenker at de besvarer oppgaven på det den etterspør. Her virker det, med andre ord, ikke som elevene er klar over at oppgaven består av flere trinn, og krever flere beregninger.

Ellers kan det også påpekes at på årsprøven er det disse utbytteoppgavene som flest elever har prøvd seg på, totalt 11 av 13 elever. Dette kan tyde på at oppgavene ser ut som en enkel oppgave, bestående av en standard prosedyre, som i utgangspunktet virker kjent for elevene. Dette tolker jeg dermed som at det er en sammenheng mellom om oppgavene ser standardiserte og prosedyremessige ut, og om elevene prøver å løse dem.

For utenom disse besvarelsene er det tre andre elevbesvarelser som er kategorisert under samme måten å løse oppgaver på. I den ene besvarelsen bruker eleven konsentrasjon i stedet for stoffmengde, og i en annen besvarelse (for oppgave beskrevet i figur 5) gjør eleven det samme som blir gjort for utbytte-oppgaven. Eleven finner noen passende tall i oppgaveteksten og putter dem inn i en kjent formel, men i motsetning til besvarelsene for utbytte-oppgaven har allerede eleven utført en rekke beregninger. Disse ser det ut som eleven ikke vet å anvende. Eleven ender dermed opp med å ikke inkludere dem, men finner to størrelser i oppgaveteksten som benyttes i stedet.

Bruker opplysninger, transformerer i nye tall

Også for denne underkategorien anvender elevene riktige formler, men de ender opp med å modifisere og transformere dem for å kunne bruke de opplysningene de har.

Av de komplekse oppgavene er det syv elevbesvarelser hvor elevene bruker riktige formler og opplysninger, men ender opp med en transformasjon i nye tall, som produserer et annet resultat. Fire elevbesvarelser med feil knyttet til denne underkategorien, er knyttet til oppgaven beskrevet i figur 5.

En fruktjuice skal ifølge varedeklarasjonen inneholde 30 mg askorbinsyre per 100 g juice. Vi vil sjekke varedeklarasjonen ved hjelp av jodometri og gjøre følgende analyse: Vi pipetterer ut 20,0 mL av juicen og tilsetter 15,0 mL 0,0100 mol/L I₂-løsning. All askorbinsyre i prøven reagerer med I₂, og vi har derfor igjen et overskudd av I₂ etter reaksjonen. Deretter blir overskuddet av I₂ titrert mot 0,0180 mol/L Na₂S₂O₃-løsning, og det går med 12,4 mL.

- Regn ut hvor mange mg askorbinsyre 100 g juice inneholder når massetettheten til juicen er 1,05 g/L.

Figur 5 Oppgave 5d(2) fra årsprøve

I oppgaven fra figur 5 blir elevene bedt om å regne ut hvor mange milligram askorbinsyre 100 gram juice inneholder når massetettheten til juicen er 1,05 gram per liter. Det skal dog nevnes at massetettheten som blir oppgitt i oppgaveteksten er ukorrekt, og at jeg ikke har noe informasjon om elevene fikk beskjed under prøven om denne feilen, men at jeg har tatt hensyn til dette i min kategorisering.

Oppgaven beskrevet i figur 5 er ikke forsøkt løst av fem av 13 elever. Det vil si at de ikke har prøvd på oppgaven i det hele tatt, og besvarelsen er dermed blank. Av de åtte som har forsøkt å løse dem er det tre av elevene som har svart korrekt på oppgaven, mens de resterende fem elevbesvarelsene er kategorisert som feil som skyldes bearbeiding, hvor igjen fire er transformering. Den siste er beskrevet for underkategori tall i formel.

Et eksempel på en besvarelse på oppgaven vist i figur 5 gjengis under:

Eleven har funnet at det er 0,338 gram askorbinsyre per liter juice, og regner så ut masse askorbinsyre på denne måten:

$$\begin{aligned} & 0,338\text{g} \cdot 1,05\text{g/L} \\ & = 0,3549\text{g per 1000 g} \\ & = 0,03549\text{g per 100g} \\ & = 35,5 \text{ mg} \end{aligned}$$

Dette kan indikere at eleven ikke vet hvordan hen skal anvende massetettheten, og ganger sammen to tall. Videre kan dette tyde på at eleven ikke helt har konkrete forestillinger om massetetthet, og relasjonen til masse. Eleven som står for denne besvarelsen har svart riktig i alle de forhenværende beregningstrinnene. De andre elevbesvarelsene inneholder feil i trinn tidligere i utregningene, disse er da enten tall i formel, eller utilsiktet tallforandring.

De resterende tre elevbesvarelsene som faller under denne kategorien er oppgaver hvor elevene ender opp med å assosiere ulike algoritmer og formler, og dermed ender opp med å transformere dem til å passe de opplysningene de har.

Eksempel:

I denne oppgaven bes elevene om å skrive reaksjonslikning for å vise at to stoff sammen utgjør en buffer samt regne ut pH for denne bufferen, gjengitt i figur 6.

Vi blander 27,0 g NaH₂PO₄(s) og 4,00g NaOH(s) i en 250 mL målekolbe og fortynner til merket.

- Skriv en reaksjonslikning som viser at dette er en buffer og regn ut pH i bufferen.*

Figur 6 Oppgave 4a) fra kapittelprøve

I elevbesvarelsen skriver eleven opp riktig reaksjonslikning og den generelle bufferlikning i starten av oppgaven, men fortsetter med å regne ut feil stoffmengde både til syren og basen ($n = \frac{m}{V}$);

$$n_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} = \frac{27,0\text{g}}{0,250\text{L}} = 108 \text{ mol}$$
$$n_{\text{OH}^-} = \frac{4,0 \text{ g}}{0,250\text{L}} = 16 \text{ mol}$$

Denne feilberegningen kan tyde på at eleven finner to tall i oppgaveteksten og blander sammen formlene for stoffmengde og for konsentrasjon.

Innsatt i bufferlikningen gir dette en pH på $-0,829$. Her bruker eleven K_a i stedet for pK_a , noe som også bidrar til feil pH. Eleven bruker sin tallforståelse, og innser at svaret er feil. Dermed klarer eleven også å finne ut at feilen var at hen skulle delt på molar masse i stedet for volum.

Så begynner eleven på neste side, og den korrekte bufferlikningen blir igjen på den forrige. Når eleven har brukt riktig stoffmengdeformel, og skal begynne å regne ut pH blander eleven sammen flere ulike formler. Hva eleven skriver, i tillegg til min tolkning, er gjengitt i tabell 3.

Tabell 3 Elevens besvarelse samt tolkning av besvarelsen

Elevers besvarelse	Min tolkning
$pK_a \cdot \frac{0,4}{0,9} = 6,2 \cdot 10^{-8}$	$pK_a \cdot \frac{[base]}{[syre]} = K_a$
$\left(\frac{0,4}{0,9}\right) \cdot 6,2 \cdot 10^{-8} = 2,75 \cdot 10^{-8}$	$K_a \cdot \frac{[base]}{[syre]} = pK_a$

Her mener jeg det er viktig å poengtere at i elevens besvarelse brukes det nesten utelukkende kun tall, hvor jeg har oversatt tallverdiene til hva de representerer (Tabell 3). Hadde eleven skrevet opp formlene uten å putte inn tallverdier, men kun hatt dem som vist over, ville det vært mulig at eleven hadde oppdaget at dette ikke stemmer.

Ved å tolke de formlene eleven skriver opp ser det ut som eleven tenker at:

$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ er det samme som $K_a = [H_3O^+] \cdot \frac{[A^-]}{[HA]}$, hvor eleven da tenker at $[H_3O^+]$ er det samme som pK_a . I tillegg gjør eleven en matematisk feil, i det hen kun flytter brøken fra en side av likhetstegnet til den andre uten å dele på den.

Videre har eleven kommet til det punktet hvor hen skal regne ut pH, og bruker formelen $pH = -\log[H_3O^+]$, men eleven har fortsatt blandet sammen pK_a og $[H_3O^+]$ og ender opp med stykket:

$$-\log(2,75 \cdot 10^{-8}) = pH = 7,56$$

I denne oppgaven kan det tyde på at eleven blander sammen flere typer formler og prinsipper, ulike assosiasjoner aktiveres underveis og fører til at eleven ender opp med en form for bearbeiding for å komme fram til et svar som kan være tilnærmet lik det korrekte svaret. Eleven ender opp med en pH på 7,56. Dette svaret i seg selv kan til dels vurderes som korrekt hvis man ser på svaret isolert, men ved å studere de algoritmene eleven har benyttet seg av blir det tydeligere at eleven ikke ser tydelige sammenhenger mellom de ulike komponentene. Dermed ender eleven opp med å blande disse sammen, som fører til at elevens løsningsmetoder blir feil. På grunn av at pH-verdien eleven ender opp med kan være et plausibelt resultat, er det dermed ikke like innlysende for eleven at fremgangsmåten som benyttes er gal. På den første siden i elevens besvarelse er den korrekte Henderson-

Hasselbach likningen gjengitt, men etter å ha støtt på litt problemer ender eleven opp med å aktivere ulike algoritmer som fører til feil tallverdier i formelen.

Manglende anvendelse av relevant informasjon

I seks elevbesvarelser finner man at elevene ikke utfører en nødvendig beregning i løpet av de ulike trinnene i oppgaven. Det vil si at relevant informasjon som oppgis ikke anvendes, og elevene ender opp med å produsere galt svar. Disse besvarelsene bærer typisk preg av at elevene har gjort riktige beregninger både før og etter et ledd unnlates fra beregningene.

Den oppgaven, som fører til de seks ukorrekte besvarelsene som havner i denne underkategorien, er en oppgave hvor man skal undersøke mengde kalsium og magnesium i en utlevert prøve ved hjelp av EDTA titrering. Elevene får blant annet informasjon om fortynninger og selve titreringen. De ulike trinnene elevene må gjennom i første deloppgave er først å regne stoffmengde, deretter må de ta hensyn til fortynning, for så å regne ut massen til kalsium. Her er det tre elevbesvarelser hvor elevene ikke tar hensyn til fortynningen.

I den neste deloppgaven må elevene først regne ut stoffmengde, deretter trekke fra stoffmengde kalsium funnet i forrige deloppgave, ta hensyn til fortynning og så regne ut massen til magnesium. I én av besvarelsene trekkes ikke stoffmengden fra, og det tas ikke hensyn til fortynning. Denne eleven tok ikke hensyn til fortynning i den forrige oppgaven heller. De to andre besvarelsene tar hensyn til fortynning, men trekker ikke fra stoffmengde kalsium.

For alle disse seks besvarelsene blir løsningen feil fordi elevene ikke utfører en nødvendig beregning. Både fortynning og at prøven består av både kalsium og magnesium forklares i oppgaveteksten. Likevel er det opp til elevene å tolke informasjonen oppgaven gir, for så å anvende denne. I forhold til magnesium og kalsium, må elevene anvende kunnskap om felling og løselighet. Disse oppgavene kan til dels se ut som enkle oppgaver hvis ikke elevene klarer å ta til seg den nødvendige informasjonen. Med andre ord, kan de se ut som oppgaver hvor elevene skal regne seg fram til masse via stoffmengde. Dette kan enten tolkes som at elevene ikke biter seg merke i informasjonen og derfor benytter seg av den, eller det kan være at elevene ønsker å regne mest mulig, og dermed ikke benytter seg av den. Som nevnt i delkapittel 4.1.2 tolkes det som en sammenheng mellom utseende på oppgaver og elever som har forsøkt løst dem. Dette ses også igjen her, hvor den første deloppgaven er besvart av 11 elever. Den andre deloppgaven er nok enda mer kompleks enn den første, da den inneholder

enda et beregningstrinn som krever at elevene henter ut informasjon. Det er åtte elever som har besvart denne, noe som kan tyde på at de også opplever den som vanskeligere.

4.2 Elevintervjuer

Intervjuet var som nevnt et oppgavebasert intervju, hvor det på forhånd var forberedt et oppgaveark som elevene fikk utdelt. Dette besto av tre oppgaver som elevene ble bedt om å løse. To av oppgavene var hentet fra en prøve som elevene hadde i timen før intervjuet fant sted, og dermed hadde elevene nettopp jobbet med disse oppgavene. Siden jeg fikk utdelt elevenes prøvebesvarelse etter intervjuet kunne hva elevene hadde svart på intervju og hva de svarte på prøven sammenlignes for å se om det var noen forskjeller. To av elevene svarte riktig på de to første oppgavene både i intervju- og prøvesituasjon. Den tredje eleven svarte feil på oppgave 1, hvor de ble bedt om å regne ut pH i en sterk base, og korrekt på oppgave 2. Grunnet konfidensialitet og personvern er elevene blitt tildelt pseudonym. Eleven som svarer feil på oppgave 1 er tildelt pseudonymet Siri, de to andre elevene har fått pseudonymene Tiril og Beate.

4.2.1 Kjente oppgaver

Som nevnt i starten av kapittel 4.2 svarte både Tiril og Beate riktig på de to første oppgavene, og Siri svarte korrekt på den andre oppgaven. I disse oppgavene bes elevene om å regne ut konsentrasjon og pH til henholdsvis en sterk base og en svak syre. For disse oppgavene er det tydelig at elevene vet hva de skal gjøre. Alle sammen starter med å skrive opp informasjonen oppgaveteksten har gitt dem. Deretter bestemmer de om det er syre eller base, og om den er svak eller sterk. Så fort de har funnet utav dette benytter de kjente løsningsmetoder.

Ved sterk base vet Tiril og Beate at konsentrasjonen av OH er lik konsentrasjonen av basen, men siden de har 2 OH⁻ må de bruke forholdet, og gange med to. Deretter vet de at $pOH = -\log[OH^-]$, og regner så ut pH ved å trekke utregnet pOH fra 14.

For oppgave 2 benytter alle elevene seg av en lignende fremgangsmåte, bare at de da arbeider med en svak syre og må benytte seg av oppgitt syrekonstant. Også her følger elevene en fremgangsmåte som de mestrer.

Tirils forklaringer bærer preg av at hun vil videre til neste steg, og hun vet at det er nødvendig for henne å komme videre til trinnet hvor hun kan regne ut den negative logaritmen av konsentrasjonen for å finne pH. Hensikten til alle trinn i forkant er å komme til dette punktet. I den første oppgaven når Tiril blir spurt hvorfor hun ganger konsentrasjonen med to, svarer hun:

«Det gjør jeg fordi jeg skal få riktig konsentrasjon til OH og ta minus log til konsentrasjonen»

Så allerede her er hun på vei videre i oppgaven, og klar til å fullføre neste trinn i løsningsprosessen. Dette kan tyde på at Tiril ser hele løsningsprosessen i ett, fremfor å se hvert ledd separat fra de andre. Hun bruker ikke ressurser på noe som hun finner åpenbart. Hun er godt trent på slike oppgaver, og dermed går hele prosessen av seg selv. På de to første oppgavene virker både Tiril og Beate til å ha god kontroll på hva de skal gjøre, hvilke algoritmer de skal anvende og om svarene deres er plausible.

Likevel kan det til en viss grad virke som at de til en viss grad også benytter seg av memorering. Tiril sier på et punkt:

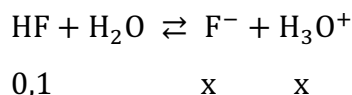
«Og det er en av disse her der det er 2 H₂O, men jeg husker ikke hvilken»,

når hun skriver opp reaksjonslikningen i oppgave 1. Her tolkes det som at når hun sier «en av disse» snakker hun om at i en av oppgavene hvor det skulle beregnes pH sto det to H₂O i reaksjonslikningen. Dette kan tyde på at Tiril ikke bruker reaksjonslikningene som et redskap for å forstå reaksjonen som finner sted, men at det heller er noe som til dels har blitt pugget. Dette ser vi også igjen i prøvebesvarelsen hennes, hvor reaksjonslikninger ser ut som de puttes inn på slutten. Tiril selv sier også:

«Og vet at jeg burde skrive opp reaksjonslikningen, men jeg er ikke så flink på å gjøre det».

Dette er dermed noe som gjør Tiril nølende. Hun har ikke noen problemer med algoritmer og formler og utviser stødighet, men reaksjonslikninger skaper en usikkerhet.

Begge elevene viser i tillegg tallforståelse, og har et generelt fokus på tallverdier og anvendelse av disse i sin oppgaveløsning. I oppgave 2 arbeider de med en svak syre, og de får oppgitt syrekonstanten til syren. Begge elevene skriver opp reaksjonslikningen. Begge fyller ut en rad under som skal indikere konsentrasjonen til de ulike reaktantene og produktene:



Ingen av dem setter opp en tabell for å demonstrere hva som skjer når en syre protolyserer, og at x egentlig symboliserer endringer som skjer i reaksjonen, men Beate forklarer:

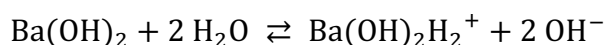
«... jeg vet jo at hydrogenfluorid er 0,10. Men i en protolyse vil den bli, du må jo ta vekk x'en. Men siden x'en kommer til å bli så lav, så liten, så kan jeg bare ta den vekk».

Her får ordene «ta vekk» to forskjellige betydninger. I første del av sitatet snakker Beate om å ta vekk x'en, som å trekke den fra, subtrahere den fra konsentrasjonen. I andre del av sitatet snakker hun om x som en størrelse, som vil være så liten at den ikke vil ha særlig stor betydning for svaret hennes. Dermed kan hun ta den vekk. Her viser Tiril og Beate en tendens til å etterligne prosedyrer som de har sett blitt utført, men ved forklaring vises det at selv om kanskje ikke ideene bak oppsettet er tydelig i besvarelsen har de en viss forståelse for prinsippene. Her skal det også nevnes at dette kan skyldes situasjonen, med tanke på at de var i en intervju situasjon kan det hende at de skriftlige svarene deres ble mindre utfyllende.

Også her tyder det på at disse oppgavene er noe elevene har god trening i, og mestrer bra. Både Beate og Tirils intervjuer bærer preg av generelt lite prat, og mer at de følger de kjente, innlærte prosedyrene og utfører dem uproblematisk. Dette kan tyde på at strategiene de bruker for problemløsning er så internalisert, og at de arbeider til dels automatisk.

4.2.2 Oppgaver med feil

Siri gjør, som nevnt innledningsvis, en feil i den første oppgaven som blir gitt i intervjuet. I oppgaven bes elevene om å regne ut $[\text{H}_3\text{O}^+]$ og pH for et oppgitt salt, $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Siri starter med å skrive opp reaksjonslikning, og det kommer fram i hennes kommentarer underveis at hun er usikker på hva hun har å arbeide med. Reaksjonslikningen hun skriver opp er:



Produktet $\text{Ba(OH)}_2\text{H}_2$ viser oss at Siri har lært at i syre-basereaksjoner tas det opp eller gis bort H^+ -ioner, og dermed er det logisk at Ba(OH)_2 tar opp hydrogenion på den måten, og man får produktet $\text{Ba(OH)}_2\text{H}_2^+$. Plussladningen til produktet setter hun på etter hun har skrevet ferdig reaksjonslikningen. Ved oppsett av reaksjonslikning er Siri usikker og sier:

«Vi sier at det er likevekt da»

Dette underbygger den usikkerheten som ble oppfattet i begynnelsen, og Siri ender opp med å skrive en likevekts-pil i reaksjonslikningen. Dette kan tyde på at hun er fokusert på hvilken type pil som skal anvendes, og dermed også hvilken type reaksjon det er, gjennom utforming og oppsett av likningen. Videre i egen besvarelse sier hun:

«Og siden det er likevekt er det svak syre, og da trenger vi K_b for jeg tror det er en base».

Siri har nå bestemt seg for at dette er en likevekt, og bruker dette videre i sin besvarelse. Deretter prøver hun å sette opp likevektsuttrykket, men innser at hun ikke har fått oppgitt noen basekonstant.

$$K_b = \frac{[\text{Ba(OH)}_2\text{H}_2] \cdot [\text{OH}^-]^2}{[\text{Ba(OH)}_2]}$$

$\frac{x \cdot x}{0,004 \text{ mol/L}}$

Siri innser hun fort at stykket over ikke lar seg løse, da hun har for mange ukjente komponenter. For å finne konsentrasjonen til hydroksidionet tar hun kvadratrot av konsentrasjonen til Ba(OH)_2 . Deretter finner hun pOH ved å ta minus logaritme av den utregnede konsentrasjonen. En mulig årsak til at hun tar kvadratrot kan være at hun ender opp med $[\text{OH}^-]^2$ i oppsettet for basekonstant, og hun vet at hun trenger $[\text{OH}^-]$ for å regne ut pOH.

Ved spørsmål fra intervjuer om hva det utregnede svaret forteller henne svarer Siri:

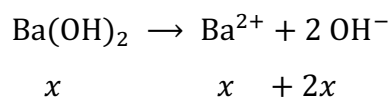
«At det er en sterk base. At pH er veldig høy, men det er mest sannsynlig feil»

Når intervjuer spør henne hvorfor hun sier det svarer Siri:

«Fordi at jeg ikke kunne se med en gang hva jeg skulle gjøre»

Denne kommentaren kan vise til at elevene er vant med å løse beregningsoppgaver prosedyremessig. I de tilfeller hvor det ikke er like tydelig hvordan de skal anvende de kjente algoritmene blir de usikre og opplever egen løsningsstrategi som gal. Siri tenker logisk, og forsøker å anvende opplysningene oppgaven gir med de formlene hun kjenner til. Når de ikke helt passer inn aktiveres andre assosiasjoner, for eksempel benytter hun seg av kvadratrot i det hun får en konsentrasjon opphøyd i andre.

Videre får Siri beskjed om at det er en sterk base, og at hun kan forsøke å sette opp reaksjonen som ioner. Siri ender da opp med:



«... nå kan jeg jo se forholdet her. Så hvis det er en, den er x, så blir jo det x + 2x. Så hvis jeg skal finne ut av konsentrasjonen av den (peker på 2x), så må jeg (tenker), dele konsentrasjonen på 2...»

Her kan det se ut som Siri tenker matematisk, ved å sette det opp som en likning hvor x er en ukjent. Videre, siden hun velger å dele på to i stedet for å gange med to, kan det tolkes som at Siri ønsker å få x'en alene, som man ville gjort om dette var en likning. Dette er generelt en vanlig strategi ved forholdstall, og noe som virker å allment oppleves vanskelig i kjemi. Siri har mange gode tanker i sin besvarelse, men det kan tyde på at hun blander flere prinsipper og regler sammen, og dermed ender opp med den løsningen som hun gjør.

4.2.3 Komplekse oppgaver

Den tredje oppgaven som ble gitt på prøven var derimot litt annerledes. For det første var det ikke en oppgave elevene hadde regnet før, og for det andre var ikke den nødvendige informasjon og fremgangsmåte like eksplisitt for elevene som de to foregående oppgavene. Denne oppgaven er av typen kompleks, da den inneholder flere trinn med beregninger. Tiril sier blant annet:

«Ehm, jeg prøver å finne kjente ting med oppgaven. Så ting jeg vet jeg kan fra før, og kan bruke. Men nå mangler det liksom ting i de tingene jeg kan bruke til å regne det ut.»

Dette viser at Tiril er klar over at denne oppgaven ikke er rett frem som de tidligere oppgavene. Elevene er vant med å løse oppgaver hvor de skal finne pH med at de får oppgitt konsentrasjon. I denne oppgaven er en opplysning elevene er vant med å få oppgitt, konsentrasjon, erstattet med en som kanskje oppleves som noe uvant, prosent. Det skal likevel sies at selv om opplysningen er litt uvant, er den ikke ukjent.

Det er tydelig at særlig Tiril ikke vet hvordan hun skal ta fatt på oppgaven. Tiril prøver å finne strukturen i oppgaven, men klarer ikke å koble opplysningene de har, med opplysningene de mangler. Etter litt rettleiding og hjelp kommer hun til et punkt hvor hun igjen kan bruke de kjente algoritmene, og da går oppgaveløsingen av seg selv.

Beate benytter seg av informasjonen om at eddik ofte er en 5% løsning av eddiksyre i vann.

«... Ja, hmm. Men så vet jeg jo da at konsentrasjonen til CH₃COOH er lik 0,05 nei jo ...»

Hvor intervjuer spør hvordan hun tenker for å komme fram til dette og Beate svarer da:

«Siden det står 5% og 0,05 er 5 %, så ville jeg sagt at det var konsentrasjonen.»

Her viser Beate en form for tallforståelse. 0,05 mol/L kan være en passende konsentrasjon, så resonneringen er logisk. Hadde man dermed endret prosenten, ville dette gjerne gitt mer perspektiv og dermed gjort Beate observant på at dette ikke var riktig fremgangsmåte. Som i Tiril sitt tilfelle, vil også Beate begynne den kjente prosedyren så fort hun har konsentrasjonen til eddiksyren på plass. Da følger hun samme fremgangsmåte som hun har gjort på de forhenværende oppgavene.

Både Tiril og Beate blir litt satt ut i møte med oppgaver som gjør det vanskeligere å ta fatt på prosedyren, og har problemer med å sette i gang. Beate prøver seg i større grad frem, mens Tiril er mer avhengig av veiledning. Beate viser at hun prøver å anvende den informasjonen hun har fått tildelt, med de kunnskapene hun har, men ender opp med å transformere for å få et resultat. I intervjuet med Siri ble det ikke tid til å løse den siste oppgaven.

4.3 Oppsummering

Både ut ifra elevbesvarelsene og intervjuene ser vi at det er en tendens til at kompleksiteten til oppgavene har noe å si for om elevene mestrer dem eller ei. De oppgavene som er enkle og består av få beregninger har høyere prosent korrekte besvarelser. Disse løses stort sett prosedyremessig. For disse oppgavene er det ca. 25 % av de besvarelsene som er prøvd besvart som er ukorrekte. Det som fører til feil her skyldes enten at elevene putter tall i formel, eller utilsiktede tallforandringer. Her har elevene en tendens til å blande sammen størrelser, eller verdier og produserer på denne måten ukorrekte løsninger.

For de komplekse oppgavene som inneholder flere beregningstrinn er over 50 % av elevenes besvarelser ukorrekte. Her er det en tendens til at elevene: 1) putter tall inn i formler, som kan tyde på at elevene ikke ser kompleksiteten i oppgaven eller at de ikke klarer å anvende informasjonen for å produsere riktig svar. 2) Bruker opplysningene og transformerer til nye tall. Her tyder det på at elevene ikke ser sammenhengene tydelig og ender opp med å assosiere ulike formler og algoritmer, eller 3) ikke anvender all informasjon i oppgaven, som gjør at elevene ikke utfører en nødvendig beregning. Dette kan komme av at de ikke vet hvordan å anvende den, eller at de ikke er klar over at de skal anvende den. Denne inndelingen viser at elevenes løsningsprosesser ved komplekse oppgaver inneholder ulike feil ved ulike trinn i oppgavene.

Dette underbygges også i intervjuene hvor det kommer frem at elevene stort sett arbeider identisk ut ifra samme fremgangsmåter, både når de besvarer oppgaver korrekt og ukorrekt. I tillegg viser elevene en tendens til å velge riktige formler til oppgavene, men det forekommer enkelte modifiseringer og transformeringer underveis som gjør at de kanskje ser litt annerledes ut. Det vil altså si at utgangspunktet til elevene som regel er riktig, men at det underveis i anvendelse skjer ulike assosieringer som gjør resultatet blir galt.

5 Diskusjon

Etter gjennomgang av datamaterialet kommer det fram at elevene stort sett utfører de samme feilene på samme type oppgaver, i tillegg til at majoriteten av elevene produserer korrekte løsninger på samme typer oppgaver.

I resultatdelen ble fordeling av elevbesvarelser over de ulike kategoriene vist. Her kom det fram at 61 % er korrekte, 5 % er utilsiktede tallforandringer, 32 % er feil som skyldes bearbeidinger og 2 % er ikke-analyserbare feil. Disse prosentene er altså regnet ut ifra de 103 elevbesvarelsene hvor elevene har svart eller prøvd å svare på oppgaver. Som vist i resultatdelen produserer elevene flest korrekte besvarelser på de oppgaven som inneholder enkle algoritmer, og de mer komplekse oppgavene inneholder stort sett flere feil. I tillegg kommer det fram at elevene gjør flere ulike typer feil på disse oppgavene sammenlignet med de oppgavene med en enkel form. For de enkle oppgavene handler det helst om å putte tall i formel, eller utilsiktede tallforandringer, slurvfeil. Det kommer også fram at elevene foretar flest feil på årsprøven. Grunner til dette antas å være blant annet omfanget av pensum. På årsprøven skal elevene testes i alt de har lært gjennom året, og dette vil naturlig nok kunne påvirke elevene, i kontrast til en kapittelprøve hvor man tester kunnskap i ett spesifikt emne. I denne delen av oppgaven vil funn fra resultat tolkes og drøftes opp mot teori presentert i kapittel 2.

5.1 Enkle oppgaver

5.1.1 Korrekt

Som vist i tabell 1 finner man flest korrekte elevbesvarelser på de oppgavene som har en enkel form. Disse oppgavene anses ikke som et problem av elevene fordi løsningsmåten er tydelig for dem, og elevene er fullt klar over hvordan de skal komme fram til en løsning. Mye kan tyde på at disse oppgavene er oppgaver som elevene har arbeidet mye med.

Elevene driver med mengdetrening, og mye av løsningene ligger intuitivt for dem. Som nevnt i resultatdel kapittel 4.2.2 opplevde jeg først at Tiril hastet gjennom oppgaven, men i ettertid ser jeg at for henne handler ikke løsningen om de enkelte stegene, men om helheten. For henne var disse oppgavene så internalisert at det nesten opplevdes litt forstyrrende at jeg skulle avbryte og få henne til å forklare de enkelte stegene. For Tiril var ikke disse oppgavene

noe problem, men snarere blitt prosedyrer som hun enkelt utførte. I Reif (1981) nevnes det at uerfarne elever har en lineær tilnærming til problemløsning, hvor de arbeider ut ifra sekvenser. Dette ses som at elevene typisk arbeider trinnvis, og ikke ser helheten i oppgaven. Fra Tiril sitt eksempel ser vi at hun ikke nødvendigvis arbeider slik, men at hun ser hele løsningsprosessen i ett og arbeider ut ifra de underliggende prinsippene, fremfor å kun fokusere på isolerte hendelser (Doyle, 1983). Selv om dette kanskje er mer synlig i større oppgaver, oppleves det som at Tiril ser løsningen som en helhet. En slik prosedyrepreget løsningsprosess kan først oppfattes som at eleven har en instrumentell forståelse, og benytter seg av innlærte formler og regler (Skemp, 1976). Ved nærmere ettersyn kan det derimot se ut som at grunnen til at løsningsprosessen blir preget av prosedyre er nettopp fordi eleven har en relasjonell forståelse, og dermed ser helheten i egen løsningsprosess. I intervjuene ble det vist til at både Tiril og Beate skriver opp en rekke med x'er som symboliserer konsentrasjoner under reaksjonslikningene. Dette kan tyde på at de etterligner prosedyrer de har sett før, enten om det er på tavlen utført av lærer, eller et eksempel de har sett i en bok. Ofte i slike etterligner er ikke hele prosedyren tydelig for elevene (Bunce, 1991). Likevel kommer det fram i samtale med Beate at hun har en viss forståelse for hva disse verdiene innebærer, og hvorfor det anvendes.

I studien til Scott (2012), som er en undersøkelse av elevers vansker i møte med beregningsoppgaver i kjemi, ble det vist at det ikke fantes noen signifikant forskjell mellom de enkleste oppgavene i kjemi- eller matematikk-oppgavesettene. I tillegg ble det påpekt at de feilene som ble funnet stort sett skyldtes slurv og regnefeil. Dette stemmer også overens med de funnene jeg har gjort; i møte med enkle beregningsoppgaver er elevene stort sett stødige, og har få feil som skyldes bearbeidinger.

5.1.2 Feil

I de fleste feilene som finnes på de enkle oppgavene handler det om at elevene anvender feil tall i formlene. Her tolkes det ikke som elevene opplever oppgavene som et problem, men snarere at de føler at deres løsning er riktig. For de elevene som gjør feil på oppgaven om bufferkapasitet har de alle nødvendige opplysninger for å regne den ut, men ender opp med å velge feil verdier. Dermed kan det tyde på at elevene ikke ser sammenhengene med de opplysningene de har og det som skal finnes ut. Ved tilgang på flere opplysninger kan enkelte elever ha problemer med å velge ut de riktige å anvende.

Ved å ta en titt på læreboken som elevene bruker, ser man at elevene bruker samme oppsett for bufferkapasitet som i eksempelet i læreboka, Aqua 2 (Steen, Fimland, & Juel, 2011, s. 82). Det som også viser seg er at tallverdiene i eksempelet er akkurat de samme som tidligere utregnede konsentrasjoner i oppgaven elevene løser. Dermed gir det mening at de bruker dem, og utregningene deres blir akkurat de samme som i eksempelet. Den avsluttende setningen som blir brukt i boka er også den som elevene noterer ned. Dette kan tyde på at elevene ender opp med å etterligne prosedyrer som de finner i lærebok (Bunce, 1991).

I intervjuet ser vi at Siri opplever den første oppgaven problematisk, og ender opp med en form for bearbeiding, hvor hennes utfordringer egentlig starter i det hun er usikker på hvilken type base hun har, sterk eller svak. Når hun møter på en blindvei, vil hun forsøke ulike strategier for å produsere et svar. Dette ser vi også i måten Bunce (1991) forklarer problemløsning, hvor det påpekes at hva noen opplever som et problem er avhengig av egen forståelse og kunnskapsnivå. Rene algoritmiske oppgaver kan oppleves som et problem for eleven når hen ikke vet hvilken løsningsmåte hen skal benytte. Her viser Siri ulike løsningsmetoder, fordi hun skjønner at hun ikke kan gjøre som vanlig ender hun opp med å prøve ulike variasjoner. Dette gjør at hun støter på blindveier og opplever at metodene hennes ikke fungerer. Siri påpeker også i intervjuet at eget svar mest sannsynlig er galt, nettopp fordi hun ikke kunne se med en gang hva hun skulle gjøre. Dette kan indikere at elevene er vant med å følge kjente prosedyrer for å produsere svar. Dermed føler de at svarene deres er korrekte når de raskt kjenner igjen algoritmene de skal anvende. Vice versa opplever Siri at svaret hennes er galt når hun ikke kjenner igjen prosedyren med en gang.

5.2 Komplekse oppgaver

Majoriteten av feil elevene gjør, som vi ser ut ifra tabell 1, skjer i utførelse av komplekse oppgaver. Slike oppgaver ber elevene om å bruke flere ulike ferdigheter i løpet av løsningsprosessen. Elevene må ikke bare huske formler og anvende dem, men må i større grad se sammenhenger og relasjoner mellom ulike komponenter i oppgavene.

Ut ifra tabell 2 kommer det fram at ukorrekte løsninger skyldes flere typer feil. Med andre ord finnes det flere ulike strategier som fører til galt svar. Disse vil bli redegjort for under.

5.2.1 Tall i formel

Som nevnt er utbytte-oppgavene en kilde til flere feil, og alle besvarelsene med feil, utenom én er fordi elevene putter feil tall inn i en formel. Disse besvarelsene bærer preg av at elevene mangler utregninger i forkant av den beregningen de presenterer som sitt svar, og at elevene løser dem som typiske ett-steps beregninger, hvor elevene anvender de tallene de har tilgjengelig med den formelen de finner passende. Dette kan tolkes som at elevene i disse tilfellene tenker matematisk istedenfor kjemisk, og feilen deres ligger i at de ikke gjør beregninger som er påkrevd. For disse oppgavene virker det ikke som elevene er klar over kompleksiteten til oppgaven og at den faktisk består av flere trinn. Dette ses også i sammenheng med at disse oppgavene er de oppgavene flest elever har prøvd seg på.

Ved å se nærmere på eksempler på utbytte-oppgaver i læreboken, Aqua 1 (Steen, Fimland, & Juel, 2010, s. 102) er disse typisk fremstilt som ett-steps beregninger, hvor nettopp tallverdiene gitt i oppgaveteksten puttes rett inn i formelen. Ellers er det også normalt at masseprosent eller synteseprosent regnes ut som siste del av en oppgave, dermed har allerede elevene gjort de nødvendige utregningene på forhånd. I de analyserte prøvene er derimot disse oppgavene gitt som første deloppgave. Dette kan dermed ses på som at elevene er vant med å kunne putte inn tallverdier i prosentutbytte-formel for å produsere riktig svar. Dette stemmer overens med hvordan Bunce (1991) forklarer at nybegynnere i kjemi løser problemer; ved å finne kvantitetene i oppgaven for deretter å finne en formel eller algoritme som samsvarer, og så kunne erstatte tall og produsere et svar. I studien utført av Chi, Glaser og Rees, gjengitt i Doyle, 1983), kom det også fram at nybegynnere fokuserer på bokstavelige beskrivelser gitt om problemet, fremfor de underliggende problemene.

5.2.2 Bruke opplysninger, transformere i nye tall

For besvarelsene som faller under denne kategorien er tendensen at elevene ender opp med å modifisere formler for å komme fram til en løsning. Altså kan dette ses som besvarelser hvor elevene har misforståelser, misoppfatninger eller bare manglende kunnskap om noe, og dermed ender opp med å modifisere eller korrigere prosedyren for å produsere et svar (VanLehn, 1982). Denne modifiseringen oppleves ikke som planlagt fra elevenes side, men snarere som om at ulike algoritmer, formler og kunnskaper assosieres for så å aktiveres uavhengig av hverandre. Elevene ønsker ikke å gi opp, dermed prøver de seg fram til de finner en måte som kan produsere et svar. Disse modifiseringene er som regel logiske, og viser at elevene innehar mye kunnskap, men at det mangler en evne til å se sammenhenger. I

møte med slike oppgaver må eleven først analysere oppgaven, dele informasjonen inn i biter, få et inntrykk av hvordan de henger sammen og dermed også få et overordnet bilde av strukturen. Dernest må eleven evaluere, altså gjøre avgjørelser basert på kriterier og betingelser gitt i oppgaven. Til slutt skal eleven skape, det vil si å putte sammen alle disse elementene og dermed danne en løsning til oppgaven (Krathwohl, 2002).

For oppgaven hvor elevene skal regne ut masse askorbinsyre i utlevert juiceprøve ligger det mye informasjon som elevene må ta tak i, og oppgaven krever flere ulike beregningstrinn for å komme fram til en løsning. Elevene driver både med anvendelse av lærte formler og algoritmer, samtidig som de må forstå hva oppgaven etterspør og ta beslutninger som kan føre til riktig løsning. Disse oppgavene krever at elevene transformerer tall også etter å ha anvendt algoritmer. Selve transformasjonene kan egentlig anses som enkle, men ofte krevende for elevene. Her må elevene se sammenhenger og dermed aktivere flere kunnskaper på en gang. I studien utført av Scott (2012) trekkes det frem at flere elever prøver seg på de mer avanserte kjemioppgavene, enn de avanserte oppgavene i matematikk. Dette kan komme av at i kjemi ser ikke elevene én riktig fremgangsmåte, men tillater seg å prøve ut forskjellige metoder for å løse oppgaven. For denne oppgaven er det ikke sett på noen rene matematikkbesvarelser fra elevene, men det er likevel mulig å trekke ut at blant elevbesvarelsene på noen av de komplekse oppgavene finner man flere ulike løsningsforslag, både av de korrekte løsningsmåtene, men også for de som er ukorrekte. Disse ser ikke ut til å ha en klar fasit for elevene, noe som forså vidt både gjelder elever som svarer riktig og de som svarer galt. Dette kan tyde på at elevene arbeider mer ut ifra en form for forståelse, fremfor kun algoritmisk.

Som nevnt i resultatdelen er det kun én elev som har gjort alle trinn fram til beregning med massetetthet korrekt. Siden massetettheten som elevene skal benytte seg av er såpass nær én, er det ikke like tydelig om man faktisk skal multiplisere eller dividere, da svaret enten vil øke eller minke litt. Med andre ord er det ikke mulig å se feilen på tallet, men det er nødvendig at eleven har noe forståelse for å kunne sjekke egen utregning, og forstå hvilken effekt det har for beregningen. Det er dermed vanskelig for elevene å benytte seg av sin tallforståelse, da svaret kan oppfattes som korrekt. Her handler det, med andre ord, om elevens kjemiforståelse og evne til å gjøre en vurdering om de algoritmene som er benyttet er riktige og korrekt anvendt. Her må eleven ha en relasjonell forståelse, og kunne gjøre en bedømmelse om hvorfor de strategier som brukes er korrekte eller ei (Nosrati & Wæge, 2015).

I eksempelet som blir gitt med pH ser vi i større grad at eleven kan gjøre en bedømmelse basert på tallforståelse, og dermed kan rette opp i eget svar. Det som derimot ser ut til å skape problemer for eleven i denne besvarelsen er blant annet at ulike algoritmer kan ha noenlunde likt utseende (Doyle, 1983). Hadde eleven skrevet opp formlene med symboler fremfor tall, slik som vist i tabell 3, hadde det antagelig vært lettere for eleven å bedømme om sammenhengene var ukorrekte.

5.2.3 Manglende anvendelse av informasjon

For seks av de 31 elevbesvarelsene på komplekse oppgaver finner jeg at elevene mangler anvendelse av relevant informasjon Dette medfører at nødvendige beregningstrinn underveis ikke finner sted, som resulterer i at elevene får feil svar. Tendensen er at elevene regner riktig både i de forhenværende og de etterfølgende trinnene.

I fravær av passende kunnskapsstrukturer vil elevene, ifølge Doyle (1983), enten bruke memoreringsstrategier for å fullføre oppgaver, eller de vil utvise en diskontinuitet mellom hva de kan forklare om et tema, og hva de gjør ved problemløsningen. I enkelte besvarelser skriver elevene opp fortykning i tegningene av titreringsoppsettet, men de tar ikke dette med i beregningene sine. Dette viser en diskontinuitet mellom den informasjonen de får, og den de tar hensyn til og anvender. Hva som forårsaker manglende anvendelse av informasjon kan spekuleres i, men det kan ha noe med elevenes forståelse for de underliggende konseptene i oppgaven. Doyle (1983) påpeker også at enkelte oppgaver kan kreve at elevene vet om informasjon de ikke forstår. Dette kan være tilfelle her, elevene vet at informasjonen finnes, men usikre på hvordan de skal anvende den.

5.3 Implikasjoner av forskningen

I løpet av dette prosjektet har jeg fått studere elevbesvarelser på en helt annen måte enn det en lærer har mulighet til i løpet av et skoleår. Jeg har gått gjennom løsningsforslagene deres trinn for trinn, for å bedre danne meg et bilde av hva de tenker når de løser en oppgave, og dermed bedre begripe deres forståelse og hva de finner vanskelig ved slike oppgaver. Det å forstå hvordan elevene tenker og anvender kjemi har opplevdes som utrolig lærerikt, og ikke minst viktig. I tillegg har det gjort meg mer bevisst på at det bak feil anvendelse av algoritmer og formler ligger mye fornuftig tenkning. De feilene de gjør er logiske, og tankene bak feilene

kommer fra et sted. Dermed er en implikasjon av min forskning at det er ønskelig å forstå og finne meningen i det de gjør, for dermed å kunne rette opp i deres feiltolkning.

Gjennom tidligere forskning vises det at elevers matematikkferdigheter er viktige for deres prestasjon i kjemi (Andrews & Andrews, 1979; Ozsogomonyan & Loftus, 1979), og det vises også at enkelte problemer kan skyldes elevenes mangelfulle kunnskaper i grunnleggende matematikk (Scott, 2012). Gjennom å ha arbeidet med datamaterialet i flere måneder kommer det dog fram at de vanskene elevene opplever i beregningsoppgaver i kjemi ikke nødvendigvis skyldes elevenes matematikkferdigheter, men snarere deres forståelse i ulike temaer innenfor kjemi. Det skal likevel påpekes at elevene sitter inne med utrolig mye kunnskap, og mye av det de gjør tyder på at de er godt trent i oppgaveløsning. Noen av de tidligere studiene er utført blant studenter på universitetsnivå (Hoban et al., 2012; Leopold & Edgar, 2008). Studenter ved universitet og elever på videregående kan sies å ha både ulike utgangspunkt, men også ulike fagsammensetninger. Så det at studentene i studiene kan oppleve matematikken i kjemien problematisk er gjeldende, likevel kan det tenkes at for skolesituasjonen hvor min forskning finner sted er utgangspunktet litt annerledes. Elevene jobber med beregninger gjennomgående i faget, i tillegg har nok majoriteten av elevene matematikk ved siden av kjemi. Dermed er ikke matematikken et like fremtredende problem i disse omstendighetene.

5.3.1 For mye prosedyre?

En implikasjon av forskningen er at vanskene ikke bare handler om en mangel på kunnskap, men at det også kan skyldes prosedyreinnøving. Elevene drilles i ulike prosedyrer, og faget består nok generelt av mye oppgavearbeid. Likevel kan det se ut som det blir for mye mengdetrening. Elevene blir så vant med å løse oppgaver etter bestemte prosedyrer at i møte med oppgaver som er bygget opp annerledes, og som bryter litt med det faste mønsteret, blir de usikre. For mange elever ligger løsningene så intuitivt at de ikke en gang sjekker om de stemmer. Kanskje det kan være en idé å få elevene til å tenke at «Kan det være at denne oppgaven er litt annerledes, at prosedyren kanskje følger en annen oppbygging?»

Et viktig aspekt jeg ønsker å ta med meg i mitt fremtidige arbeid er å gi elevene ulike typer oppgaver. Ved å variere oppgaveinformasjon, rekkefølge på og typer algoritmer de må anvende, og oppgavesettinger er det ønskelig å gi dem mulighet til økt forståelse av helheten. Jeg opplevde det veldig nyttig å utføre intervjuer som et supplement til mitt datamateriale. Da

fikk jeg mulighet til å snakke med elevene, men ikke minst få dem til å snakke. For i det du skal forklare noe høyt til noen andre, må du gjerne i større grad tenke over det du forklarer, og det dermed gi mening til fagstoffet. Derfor tenker jeg at en idé for eksempel kan være å få elevene til å forklare hverandre løsningsmetoder. Få dem til å forklare hvorfor det fungerer å bruke de ulike algoritmene som de anvender, og faktisk gi elevene mulighet til å begrunne egne avgjørelser, med håp om at det kan øke deres innsikt. Så i stedet for at elevene skal løse oppgave på oppgave, kan det være lurt å gi dem tid og mulighet til å reflektere over, og deretter forklare sammenhenger og de faktiske prinsippene som ligger bak beregningene.

5.3.2 Læreryrket og undervisning

Som presentert i resultatdelen, ser det ut som elevene har en tendens til å begå samme type feil på oppgavene. En årsak til dette kan være at elevene har gjennomgått samme type undervisning. Zoller (1993) trekker frem at en implikasjon ved tradisjonell forelesningspreget kjemiundervisning er at elevene skal reprodusere de algoritmene som læres vekk av lærer. Når dette skjer uten en form for prosessering av elevene, er det mulig at elevene ikke oppnår forståelse for konseptene, og at elevene da ender opp med å etterligne prosedyrene som lærer utfører. Ofte, både i undervisning og i lærebøker, kan flere steg i løsningsprosessen bli slått sammen, noe som gjør at prosedyrestegene ikke blir like synlige for elevene (Bunce, 1991). Dette kan da føre til at elevene ender opp med en form for felles misoppfatning. Dette kan skyldes på undervisning, men også lærebok.

Dermed kan en annen implikasjon av min forskning, og noe jeg kan være bevisst i egen undervisning, være å arbeide for å variere undervisningsopplegget. Det generelle fokuset på mengdetrening og la elevene sitte å løse oppgaver på egenhånd er ikke bare utelukkende positivt. Dette kan føre til at elevene mister litt av sin fleksibilitet og blir vant til å følge enkelte prosedyrer uten videre ettertanke. I tillegg kan et overdrevent fokus på oppgaveløsning føre til at elevene dyrker, og dermed også opprettholder såkalte «buggy» algoritmer. Altså vil de modifiserte ukorrekte algoritmene henge igjen, og hvis løsningsstrategien ikke oppfattes som feil av eleven er den vanskelig å rette opp i. Som lærer er det da viktig å være klar over hvilke misoppfatninger elevene har. En idé jeg tenker at jeg kan benytte meg av da er å få elevene til å samarbeide i større grad, og gjerne la dem sitte å løse oppgaver i fellesskap. I tillegg, som nevnt tidligere, få dem til å forklare hverandre hva de gjør. Dette kan også være med å bidra til en synliggjøring av ulike feil elevene gjør i fellesskap. Videre kan dette også ses i sammenheng med at gjennom datamaterialet er det vist at de fleste feilene elevene gjør,

blir gjort av en majoritet. Dermed finnes det en del felles mistolkninger som man som lærer kan sette fokus på å rette opp i. I tillegg tror jeg det kan være en idé å se på lærebok og hvordan fagstoffet fremstilles der, hvilke eksempler som brukes og om disse er regelen eller unntaket. I de fleste kjemilærebøker finner man mange eksempler som viser elevene hvordan de skal gjøre ulike beregninger, men ofte i kjemien finnes det en del unntak. Dermed kan det være lurt å fokusere på hva som er generelt og hva som er mer spesifikt for et eksempel.

Leopold & Edgar (2008) peker også på at det kan være en idé å la elevene jobbe med beregningsoppgaver uten kalkulator, for å da gi dem mer eierskap over kalkulasjonene og dermed føle til at de kjemiske beregningene gir mer mening. På denne måten kan man sette fokus på hvilke ferdigheter som skal aktiveres, og gjøre elevene klar over hva disse innebærer. Dette mener de kan være med å øke elevens evne til å anvende matematikken flytende og utvikle deres forståelse for den, som igjen kan være med å friggi plass til mer kompleks problemløsning (Leopold & Edgar, 2008).

I tillegg tenker jeg at man er bevisst poenggivning på prøvene, da dette, naturlig nok, er en indikator for elevene om det de gjør er riktig eller ei. Som lærer med en stor bunke prøver som skal rettes tror jeg det er lett å se hvilke løsninger elevene har produsert, men ikke veiene elevene har brukt for å komme dit. Derfor tror jeg det er viktig å ha et generelt fokus på de algoritmer, både valg og utførelse av dem, som fører til et svar, og ikke kun den løsningen man ender opp med til slutt.

I artikkelen til Leopold & Edgar (2008) trekkes det også frem enkelte pedagogiske misoppfatninger som kan forstyrre læring. Blant annet nevner de at for mange av elevene var ikke deres forkunnskaper i matematikk like bra som forventet, og at enkelte elever innehar en form for håpløshet i matematikk. For min fremtidige undervisning tenker jeg at det er viktig at jeg ikke ser på matematikk som et atskilt fagfelt, men heller blir bevisst på elevenes matematikkferdigheter, og hva de opplever som problematisk. Det er ikke ønskelig at ulike misoppfatninger og problemer i matematikk skal stå i veien for læring i kjemi. Med utgangspunkt i Grove (2015) kan et alternativ da være å gjøre dem klar over hvilke ferdigheter som er nødvendige, og hjelpe dem å huske på hva disse ferdighetene innebærer.

5.4 Oppsummering

Ved å sammenligne komplekse og enkle oppgaver kan det tyde på at elevene sliter mer med de oppgavene hvor løsningsmåten ikke er like synlig. Elevene vil etter å ha arbeidet mye med oppgaver få en prosedyremessig måte å løse dem på. Én fare ved å ha en for prosedyrepreget tilnærming til oppgave er at elevene kan miste litt av egen fleksibilitet, og dermed bli satt ut når de skal løse oppgaver på andre former. Ved å variere oppgavetyper, og ikke nødvendigvis ha et veldig fokus på mengdetrening er det ønskelig å utvide elevenes forståelse også for komplekse oppgaver.

Fra dette prosjektet er det som lærer ønskelig å trekke med seg at ulik forskning viser at matematikkferdigheter til elevene spiller en rolle for kjemiske beregninger, og at det dermed er viktig å være klar over hvilke forkunnskaper elevene besitter. Ved å kartlegge tidlig kan man lettere rette opp, og dermed ta tak i potensielle misoppfatninger. Likevel viser funn fra denne forskningen at de årsaker som ligger til grunn for feil ved beregningsoppgaver i liten grad skyldes elevenes matematikkferdigheter, men i større grad deres forståelse av ulike konsepter i kjemi. Ved å være bevisst på hvordan elevene arbeider, og hva som er meningen bak deres løsningsstrategier, vil det være lettere å legge til rette for at de skal mestre beregningsoppgaver. Gjennom dette forskningsprosjektet har jeg fått økt bevissthet rundt at elevens løsninger ikke kun er korrekte eller ukorrekte, men at det finnes flere nyanser til de feilene elevene gjør og det er en mening bak dem.

6 Konklusjon

Målet med denne masteroppgaven var å få innsikt i og forståelse for hvordan elever på videregående skoler løser beregningsoppgaver i programfag kjemi. Dette var ønskelig å gjøre gjennom å studere elevens prøvebesvarelser, og oppgaveintervju med elever. Gjennom de formulerte forskningsspørsmålene var det ønskelig å se nærmere på hvilke feil og fellestrekk man finner i elevenes besvarelser, og dermed bedre danne seg et bilde av hvordan elevene tenker i kjemi, og særlig da ved beregningsoppgaver.

Ut ifra resultatene og de feiltypene som er funnet og kategorisert i besvarelsene, ser det ut som de utfordringer elever opplever, som oftest skyldes elevenes grunnleggende kjemiforståelse og evne til å se sammenhenger. Scott (2012) peker på at elevene er mangelfulle i grunnleggende matematikkferdigheter, og at ved at de ikke helt forstår ferdighetene de benytter seg av ender de opp med å bruke dem algoritmisk. Ut ifra mitt datamateriale kan jeg ikke si noe direkte om elevenes matematikkferdigheter, men det finnes likevel en tendens som viser at det ikke nødvendigvis er matematikken som fører til feil i elevbesvarelsene.

Med bakgrunn i et teoretisk rammeverk, ble det valgt å gjøre en inndeling av beregningsoppgaver basert på kompleksitet. Her ble det tydelig at elever har en tendens til å løse oppgaver på en enklere form med større sannsynlighet for korrekt svar. For de oppgavene som var mer komplekse kom det fram at elevene hadde flere ulike feiltyper, som grunnet i en form for bearbeiding. Enten puttet elevene tall inn i formler, brukte opplysningene men transformerte i nye verdier, eller de anvendte ikke relevant informasjon i oppgaven. Alle disse typene feil skyldes i utgangspunktet at elevene ikke nødvendigvis ser sammenhenger, de assosierer ulike formler og algoritmer, eller at de ikke vet hvordan eller at de skal anvende informasjon oppgaveteksten gir.

Videre indikerer funn fra studien at måten elevene utfører beregningsoppgaver på ofte er prosedyrepreget. Dette vil si at elevene leter etter størrelsene i oppgaveteksten, og deretter finner en formel som samsvarer (Bunce, 1991). Årsaker til dette kan skyldes at elevene i stor grad driver med mengdetrening, og dermed er mange av disse strategiene internalisert hos elevene. I tillegg viser analysen at elevene ofte begår de samme feilene på oppgaver, som kan

indikere at elevene har samme misoppfatninger. Dette kan skyldes undervisning, men kan også komme av måten lærestoff er fremstilt i læreboken.

6.1 Implikasjoner og veien videre

Som nevnt innledningsvis er formålet med dette masterprosjektet å få økt innsikt i hvordan elever tenker og arbeider med beregningsoppgaver i kjemi. Denne innsikten kan være nyttig for andre kjemilærere, kjemistudenter og andre lærere innenfor naturfag. Tidligere studier har vist til hva elever finner vanskelig i kjemi samt sett på sammenhenger mellom matematikkferdigheter og prestasjoner i kjemi, men det finnes lite litteratur som er ute etter å finne meningen i det elevene gjør når de løser beregningsoppgaver. Dette er forsøkt sett på i denne oppgaven. Til videre forskning er det mulig å gjøre dette i enda større grad, blant annet ved å utvide datamaterialet. En mulighet kan være å sammenligne beregningsoppgaver med andre typer oppgaver for å finne ut om elevene løser oppgavene på andre måter og om dette kan fortelle noe annet om hva de tenker i kjemi. I tillegg kunne det vært interessant å sett på om elever velger bort beregningsoppgaver til fordel for andre oppgaver.

Som fremtidig lektor kan jeg trekke med meg et par punkter fra dette prosjektet videre inn i min profesjonsutøvelse. Blant annet ved å variere hvordan jeg lar elevene arbeide med oppgaver. Istedenfor å ha et fokus på kvantitet er det ønskelig å finne et par gode og varierte oppgaver som elevene kan få løse. I tillegg vil det være ønskelig å la elevene være aktive i form av samarbeid og prating. Ved å forklare fremgangsmåter og algoritmer til hverandre er det ønskelig at elevene skal få større eierskap over strategiene, og dermed også i større grad se de sammenhenger som finnes. I tillegg har dette prosjektet gjort meg mye mer bevisst på at en elevbesvarelse inneholder så utrolig mye mer enn kun det svaret de setter to streker under. Elevene viser en stor grad av resonnering og tenkning underveis i sine løsningstrinn, og som lærer er det mye informasjon man kan hente ut fra dette.

Litteraturliste

- Andrews, M. H., & Andrews, L. (1979). First-year chemistry grades and SAT math scores. *Journal of Chemical Education*, 56(4), 231-232.
- Bunce, D. M. (1991). Enhancing Chemistry Problem-Solving Achievement Using Problem Categorization. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(6), 505-521.
- Childs, P. E., & Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 10, 204-218.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2011). *Research Methods in Education*. London: Routledge.
- Doyle, W. (1983). Academic work. *Review of Educational Research*, 53(2), 159-199.
- Fardal, A. (2018). *Matematikk i kjemi - Hva er så vanskelig?* (Masteroppgave). Hentet fra: <http://bora.uib.no/handle/1956/17826>
- Goldin, G. A. (1997). Chapter 4: Observing mathematical problem solving through task-based interviews. *Journal for Research in Mathematics Education. Monograph*, 9, 40-177.
- Grove, M. (2015). Is a conceptual understanding of maths vital for chemistry? Hentet fra: <https://eic.rsc.org/section/feature/is-a-conceptual-understanding-of-maths-vital-for-chemistry/2000090.article>
- Grove, N. P., & Bretz, S. L. (2012). A continuum of learning: from rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*(13), 201-208.
- Herron, J. D., & Nurrenbern, S. C. (1999). Chemical education research: improving chemistry learning. *Journal of Chemical Education*, 76(10), 1353-1361.
- Hoban, R. A., Finlayson, O. E., & Nolan, B. C. (2012). Transfer in chemistry: a study of students' abilities in transferring mathematical knowledge to chemistry. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 44(1), 14-35.
- Johannessen, A., Tufte, P., & Christoffersen, L. (2010). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Abstrakt Forlag.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212-218.
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2015). *Det kvalitative forskningsintervju*. Oslo: Gyldendal Akademisk.
- Leopold, D. G., & Edgar, B. (2008). Degree of mathematics fluency and success in second-semester introductory chemistry. *Journal of Chemical Education*, 85(5), 724-731.

- Maher, C. A., & Sigley, R. (2014). Task-based interviews in mathematics education. I S. Lerman, *Encyclopedia of Mathematics Education* (s. 579-582). Dordrecht: Springer.
- Nilssen, V. (2012). *Analyse i kvalitative studier : den skrivende forskeren*. Oslo: Universitetsforl.
- Nosrati, M., & Wæge, K. (2015). *Sentrale kjennetegn på god læring og undervisning i matematikk*. Matematikksenteret - Nasjonalt senter for matematikk i opplæringen.
- Ozsogomonyan, A., & Loftus, D. (1979). Predictors of general chemistry grades. *Journal of Chemical Education*, 56(3), 173-175.
- Reif, F. (1981). Teaching problem solving - a scientific approach. *The Physics Teacher*, 19(5), 310-316.
- Ringnes, V., & Hannisdal, M. (2014). *Kjemi fagdidaktikk: Kjemi i skolen* (3. utgave). Oslo: Cappelen Damm akademisk.
- Royal Society of Chemistry (2019). Math Skills. Hentet fra <https://www.rsc.org/cpd/resource/RES00001503/maths-skills>
- Säljö, R. (2013). Støtte til læring - tradisjoner og perspektiver. I R. Krumsvik, & R. Säljö, *Praktisk-pedagogisk utdanning. En antologi* (s. 53-79). Bergen: Fagbokforlaget.
- Scott, F. J. (2012). Is mathematics to blame? An investigation into high school students' difficulty in performing calculations in chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13, 330-336.
- Skaalvik, E. M., & Skaalvik, S. (2005). *Skolen som læringsarena. Selvoppfatning, motivasjon og læring*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Skemp, R. R. (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching*, 77, 20-26.
- Smith, K. C., Nakhleh, M. B., & Bretz, S. L. (2010). An expanded framework for analyzing general chemistry exam. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 11(3), 47-153.
- Stamovlasis, D., Tsaparlis, G., Kamilatos, C., Papaoikonomou, D., & Zaratoadou, E. (2005). Conceptual understanding versus algorithmic problem solving: Further evidence from a national chemistry examination. *Chem. Edu. Res. Pract.*, 6(2), 104-118.
- Steen, B., Fimland, N., & Juel, L. (2010). *Aqua 1: Kjemi 1: Grunnbok*. Oslo: Gyldendal.
- Steen, B., Fimland, N., & Juel, L. (2011). *Aqua 2: Kjemi 2: Grunnbok*. Oslo: Gyldendal undervisning.
- Tjora, A. H. (2017). *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. Oslo: Gyldendal akademisk.
- VanLehn, K. (1982). Bugs are not enough: Empirical studies of bugs, impasses and repairs in procedural skills. *Journal of Mathematical Behavior*, 3(2), 3-71.

Zoller, U. (1993). Are lecture and learning compatible? Maybe for LOCS: Unlikely for HOCS. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 195-197.

Zoller, U., & Tsapalis, G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Research in science education*, 27(1), 117-130.

Vedlegg 1 – intervjuguide

Introduksjon

Det er viktig at eleven er klar over at hensikten med dette intervjuet er ikke å teste kunnskap, men å få en bedre forståelse av hvordan eleven tenker i møte med beregningsoppgaver. Jeg ønsker å få et innblikk i elevens tenkning og resonnering.

Motivasjon for kjemi

1. Du har valgt kjemi 1 som programfag, kan du fortelle litt om hvorfor du gjorde det?
2. Kan du fortelle hvordan det har gått i kjemi så langt?
 - a. Hva liker du best?
 - b. Hva synes du er litt mindre interessant?
 - c. Synes du at du lærer kjemi? Føler du at du har kommet mer inni kjemiens verden?
 - d. Hvor trygg føler du deg på å løse beregningsoppgaver om syrer og baser?

Hvordan løse beregningsoppgaver

Nå har jeg lyst at du skal løse en beregningsoppgave skriftlig for meg. Jeg ønsker å finne ut hvordan du tenker når du løser oppgavene, så du må gjerne fortelle hva du gjør og hva du tenker. I tillegg kan det hende at jeg stiller noen spørsmål underveis. Jeg er ikke ute etter å teste hva du kan, men jeg er interessert i å finne ut hvordan elever tenker når de løser beregningsoppgaver. Dette vil si at spørsmål ikke betyr at du gjør noe feil, jeg ønsker bare å få innblikk i det som ikke er synlig på en skriftlig besvarelse.

3. Hvordan angriper du denne oppgaven?
 - a. Hva etterspør oppgaven?
 - b. Hvilken relevant informasjon finner du i oppgaven?
 - c. Hvilke sammenhenger er du kjent med som kan føre deg videre?
4. Kan du fortelle hva du gjør her?
 - a. Hva tenker du når du gjør sånn?
 - b. Hvorfor gjør du det?
 - c. Hva forteller dette deg?
 - d. Kunne du gjort noe annerledes?

5. *Hvis eleven står fast:*
 - a. *Hva tenker du nå?*
 - b. *Hva forteller informasjonen deg?*
 - c. *Gi tips om eleven fortsatt står fast.*
6. Hva forteller sluttresultatet deg?
 - a. Hvordan kan du sjekke ditt eget resultat?
 - b. Er dette noe du pleier å gjøre?

Avslutning

7. Hvordan opplevde du intervjusituasjonen?
 - a. Gjorde du noe annerledes nå enn under prøven?
8. Har du spørsmål angående kjemien eller prosjektet jeg jobber med?

Vedlegg 2 – Oppgaver gitt ved intervju

Oppgave 1

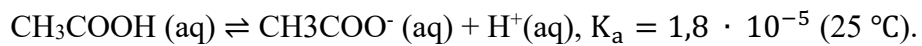
Beregn pH i en løsning 0,004 mol/L Ba(OH)₂ (bariumhydroksid).

Oppgave 2

Beregn pH i en løsning 0,10 mol/L HF (hydrogenfluorid), $K_a = 6,4 \cdot 10^{-4}$.

Oppgave 3

Eddiksyre er en svak syre:



Eddik brukt i matlaging er ofte en 5% løsning av eddiksyre i vann (pluss litt krydder og annet som gir god smak).

Hva er $[\text{H}^+]$ og pH i mateddik?